Über den feineren Bau der Facettenaugen bei Neuropteren.

Von

Friedrich Ast.[1])

Mit Tafel 26—33.

Einleitung.

Unsere Kenntnisse über den Bau der Facettenaugen wurden in den letzten Jahren bedeutend erweitert. Es ist wohl kaum nötig, eine Übersicht über die in Betracht kommenden Arbeiten und ihre Ergebnisse zu geben. Es dürfte dies aus den zahlreichen Arbeiten,

---

1) Der Verfasser, zuletzt Oberleutnant d. L. in der Fliegerabteilung 304, ist im September 1918 in Palästina gefallen. Er hatte die Staatsprüfung für das höhere Lehramt abgelegt und hatte mit der vorliegenden Untersuchung am 8. März 1913 bei der naturw. Fakultät in Tübingen die Doktorprüfung bestanden. Die Arbeit sollte vor der Drucklegung noch in einigen Punkten ergänzt werden. Dr. Ast war damit noch nicht zu Ende gekommen, als ihn der Kriegsausbruch ins Feld rief. Bis zum Jahre 1917 stand er ununterbrochen beim 7. bayrischen Landw.-Inf.-Reg. im Westen. Dann trat er zu einer Fliegerabteilung über und kam im August 1918 an die Palästinafront. Aus Konstantinopel und von der Weiterreise habe ich von ihm noch mehrfach Nachricht erhalten, zuletzt eine Karte vom 17. September aus der Gegend von Aleppo. Bald darauf fiel Dr. Ast bei einem Beobachtungsfluge, während sein Flugzeugführer in Gefangenschaft geriet. Zwei Brüder von Dr. Ast waren schon vorher gefallen.

Dr. Ast war eine ernste Natur, ein Mann von größter Gewissenhaftigkeit und Pflichttreue, aus tiefster Überzeugung bereit, alles für das Vaterland einzusetzen. Blochmann.

die in jüngster Zeit erschienen sind, zur Genüge bekannt sein. Nachdem besonders Untersuchungen von Müller, Grenacher und Hesse uns über den allgemeinen Bau des Facettenauges orientiert und Exner's Arbeiten deren Wirkungsweise vor allem weiter klargelegt hatten, war die Grundlage geschaffen für speziellere Untersuchungen. Man ging daran, die einzelnen Familien genauer zu untersuchen. So wurden die Facettenaugen der Ephemeriden, Coleopteren, Wasserwanzen, Dipteren untersucht, und interessante Befunde dieser Arbeiten bereicherten unsere Erfahrungen. Das Auge von *Dytiscus marginalis* fand eine eingehende Bearbeitung auch in bezug auf seine Entwicklung. Diese Arbeiten zeigten, welch reiche Mannigfaltigkeit im Bau des Facettenauges selbst innerhalb einzelner Familien herrscht. Gern war ich bereit, der Anregung von Herrn Prof. Blochmann zu folgen und mich diesem Gebiet zuzuwenden. Die Neuropteren, welche ich zu bearbeiten hatte, umfaßten eine Insectengruppe, die heute in 3 Familien aufgelöst ist. Wir unterscheiden Panorpatae, Neuroptera, Trichoptera. Die Panorpatae und Neuropteren sind kleine Familien. Besonders die erstere umfaßt nur wenige Vertreter. Die Trichopteren sind durch zahlreiche Arten vertreten, die sich aber ziemlich einheitlich zusammenschließen. Versprach eine Untersuchung erfolgreich zu werden infolge dieser systematischen Verhältnisse, so war sie um so verlockender, als von den in Betracht kommenden Tieren nur das Auge einer einzigen Art beschrieben war, nämlich von *Phryganea grandis*, durch Grenacher. Die Untersuchungen waren zu einer Zeit gemacht, da die Technik weniger ausgebildet war. Daher schien eine Nachuntersuchung auch in dieser Beziehung angezeigt.

Das Material sammelte ich in der Umgebung von Tübingen, teilweise auch auf den nächsten Bergen der schwäbischen Alb (*Ascalaphus*, *Myrmeleon*, *Raphidia*). Die Tiere, zum größten Teil Dämmerungs- oder Nachtinsecten, verhalten sich bei Tag meist ruhig in ihren Verstecken. Sie waren daher nicht immer leicht zu bekommen. Von *Myrmeleon* sammelte ich die Larven und züchtete die Imago.

Untersuchungsmethoden.

Zur Fixierung benutzte ich vor allem Sublimat mit Zusatz von 2% Eisessig. Hiermit erzielte ich in den meisten Fällen gute Erfolge. Auch Sublimat mit Alkohol und Zenker's Gemisch wendete

ich an: ersteres erzeugte vielfach Schrumpfungen. Flemming'sche Lösung erhielt bei *Chrysopa* sehr schön die Nebenpigmentzellen. Bei *Ascalaphus* waren die Nebenpigmentzellen, die sehr wasserreich sind, stets bedeutend geschrumpft. Hier führte mich Carnoy'sche Flüssigkeit zum Ziele. Sie erzeugte nur geringe Schrumpfung. Die Methode, die Cornea abzusprengen, wendete ich wenig an. Nur bei *Osmylus*, *Myrmeleon* und *Ascalaphus* hatte ich damit Erfolg. Bei den übrigen haftet die Cornea sehr fest. Ich schnitt daher die Cornea mit, und bei einiger Übung gelingt es auch so, Schnittserien von 5 μ Dicke herzustellen. In einigen Fällen stellte ich auch Schnitte von 3 μ Dicke her. Die kombinierte Einbettung in Celloidin mit Paraffin wendete ich wenig an, meist führte die Einbettung in Paraffin allein zum Ziele. Anfangs verwandte ich Paraffin vom Schmelzpunkt 50, vorteilhafter erwies sich Paraffin vom Schmelzpunkt 56, das ich später ausschließlich verwendete. Da bei den Neuropteren und Trichopteren das Auge die Form einer Halbkugel hat, lieferten Sagittalschnitte sowohl Querschnittsserien als auch Längsschnitte. Bei dieser Schnittrichtung stützte sich das Corneagewölbe in sich selbst, zersprang nicht und ließ so das eingeschlossene Organ unbeschädigt. Allerdings kann ab und zu ein ganzer Schnitt sich loslösen und herausfallen. Leicht wurden die Schnitte durch den Wechsel von Wasser zu Alkohol und durch die Färbung geschädigt; dies zu verhindern klebte ich sie meist mit Eiweißglycerin auf. Stets überzog ich die Schnitte mit einer Photoxylinschicht, indem ich sie in eine Tube mit $\frac{1}{4}$ %iger Photoxylinlösung tauchte. Die Färbung mit Eosin und Delafield's Hämatoxylin verwandte ich zu Übersichtspräparaten oder als Kontrollfärbung. Dabei färbten sich auch das Eiweißglycerin und das Photoxylin. Dies läßt sich aber leicht beseitigen, wenn man mit Salzsäure in Alkohol differenziert. Mit Heidenhain's Eisenhämatoxylin erhält man vorzügliche Färbungen, weshalb ich dies fast ausschließlich verwendete. Man kann mit ihm jeden erwünschten Grad der Differenzierung erreichen. Eine Vorfärbung mit Bordeauxrot war in manchen Fällen von großem Vorteil. Das Pigment entfernte ich mit der Jander'schen Flüssigkeit, die ihren Zweck sehr gut erfüllte. Um die Pigmentverschiebung beobachten zu können, fixierte ich Tiere, die ich mehrere Stunden in der Dunkelkammer gehalten hatte, bei schwachem rotem Licht.

Zur Vermeidung von Mißverständnissen sei folgendes über die Orientierung vorausgesandt. Die Lage der Augen und die Schnittrichtung sind stets auf die Achsen des Kopfes bezogen. Bei *Sialis*

und *Raphidia* fällt die Längsachse des Kopfes mit der des Körpers zusammen. Alle übrigen untersuchten Arten besitzen die normale Kopfhaltung: Längsachse des Kopfes senkrecht zur Längsachse des Körpers. Ein Schnitt parallel der Stirn ist ein Frontalschnitt, ein Schnitt senkrecht zur Längsachse des Kopfes ein Querschnitt.

1. Panorpatae.

Panorpa communis L.

(Fig. 1, 2, 3A—D.)

Das Auge ist ein Oval, dessen Längsachse senkrecht zur Körperachse steht. Schon äußerlich ist zu sehen, daß die Cornea dorsoventral weniger gekrümmt ist als senkrecht dazu. Vom Rande der Cornea springt eine Chitinlamelle gegen den Mittelpunkt des Auges vor. Beide bilden so zusammen eine starre Kapsel, in welche das Auge eingebettet ist. Die Chitinlamelle ist eine Einstülpung, besteht also aus zwei Lagen. Sowohl im Auge wie auf der Körperseite liegt ihr die dünne Hypodermis an. An ihrem freien Innenrand setzt sich die Basalmembran an. Chitinlamelle und Basalmembran bilden die Scheidewand zwischen Kopf und Auge. Die Basalmembran ist siebartig durchlöchert. Durch jedes Loch treten die Nervenfasern einer Retinula, die sich unter der Basalmembran in der Nervenbündelschicht zu größeren Bündeln zu vereinigen. In dieser Nervenbündelschicht sehen wir zahlreiche Kerne, die wohl zu Nervenscheiden gehören. Die Schicht wird proximal von einer dünnen Membran begrenzt, die sich wie die Basalmembran am Innenrand der Chitinlamelle ansetzt (Fig. 1). Dicht darunter liegt eine weitere Membran, diese umhüllt die Ganglien. Beide Membranen habe ich immer gefunden.

Die Cornealinse ist bikonvex und sondert sich in 2 Lagen. Die äußere, sich homogen färbende, resistentere Lage bildet über jedem Ommatidium eine bikonvexe Linse, die nach innen mehr gewölbt ist als nach außen. Auf die innere Wölbung legt sich die weniger gefärbte Lage in konzentrischen Schichten.

Der Krystallkegel ist kegelförmig, mit breiter Basis. Er färbt sich kaum und besitzt geringe Lichtbrechung. Seine kaum sichtbare, körnige Struktur ist überall gleichmäßig; sie läßt vermuten, daß es sich im lebenden Zustand um eine ziemlich stark wasserhaltige, weiche Masse handelt. Dafür spricht auch, daß der Krystallkegel

stets ein wenig geschrumpft ist. Die Krystallkegelhülle ist zart. An der Kegelspitze umfaßt sie das distale Ende des Rhabdoms (Fig. 2 u. 3C). Der Basis des Kegels liegen die Krystallkegelzellen auf. Sie führen nur wenig Plasma, das die Kerne umhüllt. Als Abnormität habe ich an einigen Präparaten Krystallkegel gefunden, die aus 5 Segmenten bestanden. Dementsprechend fanden sich 5 Krystallkegelzellen und Kerne vor.

Die Retinula zeigt eine Ausbildung, wie sie dem Appositionsauge zukommt. In gleichförmiger Ausbildung reicht sie von der Kegelspitze bis zur Basalmembran. Proximal verjüngt sie sich ein wenig. Indem ich auf Querschnittserien durch das Auge die Kerne zählte, fand ich, daß jede Retinula aus 8 Zellen besteht. 7 Kerne liegen in der distalen Hälfte der Retinula. Der 8. Kern liegt proximal, wenig über der Basalmembran. Ob sich diese 8. Zelle am proximalen Ende der Retinula noch an der Bildung des Rhabdoms beteiligt, konnte ich nicht feststellen. Soweit ich die Zellgrenzen erkennen konnte (proximal bis in die Nähe des 8. Kerns), beteiligen sich nur 7 Zellen an der Bildung des Rhabdoms. Das Rhabdom (Fig. 3D) ist ein Stab, der in seiner ganzen Länge den gleichen Durchmesser hat. Seine Achse hatte sich nicht gefärbt. Entsprechend der Bildung durch 7 Zellen ist es oberflächlich gerieft (Fig. 3D). Ein heller Hof umgibt das Rhabdom. In diesem konnte ich die Andeutung einer radiären Strahlung erkennen. Die Kerne enthalten nur wenig Chromatin und sind daher nicht leicht zu sehen. Nur bei Vorfärbung mit Bordeauxrot konnte ich sie zählen. In ihrer ganzen Länge sind die Zellen der Retinula pigmentiert. Das Pigment ist hauptsächlich an der Peripherie der Zellen angeordnet (Fig. 3D), in perlschnurförmigen Reihen (Fig. 2). Die distalen Zellenden sind bis in die Höhe des 8. Kerns dicht erfüllt von dunklerem Pigment.

Die Hauptpigmentzellen führen schwarzbraunes Pigment. Es ist viel widerstandsfähiger als das der Nebenpigment- und Sehzellen, das gelbbraun ist. Zu jedem Ommatidium gehören 2 Zellen. Proximal reichen sie bis an das Rhabdom heran. Sie berühren hier eng die Retinulazellen, die sich teilweise ein wenig zwischen ihnen einschieben. Distal reichen die Hauptpigmentzellen etwas über die Mitte des Krystallkegels. Sie schließen sich zu einem Trichter zusammen, der sich vollkommen dem Krystallkegel anschmiegt. Ein kleines Loch in der Spitze des Trichters läßt den Krystallkegel durchtreten (Fig. 3B). Die bohnenförmigen, großen Kerne liegen in

Höhe der Krystallkegelspitze (Fig. 3C). Die Nebenpigmentzellen reichen von der Cornea bis zur Retinula. In ihrem proximalen Teile ist das Pigment dichter angehäuft; dort werden Lichtstrahlen, die zwischen den Hauptpigmentzellen durchtreten könnten, absorbiert. Besonders gut sind also die einzelnen Ommatiden an der Krystallkegelspitze isoliert. Jeder Krystallkegel ist von einem Kranz von 18 Zellen umgeben. Diese erzeugen auf Querschnitten ein Netz. In jeder Masche desselben ist ein Krystallkegel eingebettet. Die Anzahl der Zellen, welche zu einem Ommatidium gehören, schwankt zwischen 17 und 19. Dies ist durch geringe Verschiebungen bedingt. Man wird annehmen dürfen, daß jeder Kegel von 18 Pigmentzellen umgeben ist.

Wie Fig. 1 zeigt, sind die Ommatidien an verschiedenen Stellen des Auges verschieden lang. Ich habe folgende Maße gefunden:

	Länge des Ommatidiums	Krystallkegel Krystallkegelzellen
Augenmitte mehr nach dem caudalen Rand (Fig. 1)	216	48
rostral	168	36
dorsal	115	34
Breite der Retinula	12	
Corneafacette breit	24	
Corneafacette tief	21	

Daß Differenzierungen im Facettenauge im engsten Zusammenhange mit biologischen Verhältnissen stehen, ist vielfach nachgewiesen, so von CHUN für viele Tiefseekrebse. DEMOLL untersuchte besonders eingehend *Squilla mantis*. ZIMMER, DIETRICH und BEDAU beschreiben solche Differenzierungen bei Insectenaugen. In BREHM's Tierleben wird von *Panorpa* berichtet, daß sie, kühn und frech, selbst größere Wasserjungfern anfällt. Im Gebüsch oder Gras sitzt sie meist ruhig, auf Beute lauernd. Ihre Färbung schützt sie in hohem Maße davor, entdeckt zu werden. Wird sie aufgescheucht, so fliegt sie nicht hoch auf, sondern huscht nur wenig weiter, um sich besser zu verbergen. Man kann ihr ziemlich nahe kommen, bevor sie sich rührt. Nähert man ihr langsam das Netz, so bleibt sie ruhig sitzen. Man wird daher annehmen dürfen, daß sie nur auf nahe Entfernungen deutlich sieht. Entsprechend der Krümmung der Cornea divergieren in dorso-ventraler Richtung die Facettenglieder weniger als senkrecht dazu. Das Sehfeld des Ommatidiums

ist also kleiner, das Gesamtbild schärfer. In rostro-caudaler Richtung (Fig. 1) divergieren die Ommatidien der Augenmitte ebenfalls weniger; auch hier wird das Bild schärfer. Groß ist die Divergenz im rostralen und besonders im caudalen Drittel des Auges. Dadurch wird der Sehwinkel des Gesamtauges bedeutend vergrößert. Er beträgt etwa 180°. Das erzeugte Bild ist aber in den Zonen mit starker Divergenz undeutlich und verzerrt. Besonders ist dies im caudalen Teil der Fall, wo die Facetten auch noch schief zur Cornea gestellt sind. Mit der Augenmitte sieht das Tier scharf, hiermit kann es fixieren. Die Ränder sind besser geeignet Bewegungen wahrzunehmen, da ein Gegenstand dort weniger Ommatidien gleichzeitig erregt und bei seiner Bewegung der Wechsel in den erregten Ommatidien viel rascher vor sich geht. DEMOLL hat dies eingehend bei *Squilla mantis* untersucht. Man kann auch leicht an den Tieren beobachten, wie sie sich drehen und wenden, wenn man ihnen einen Gegenstand nähert. Die Erklärung, daß sie mit der Augenmitte fixieren wollen, liegt nahe. EXNER weist darauf hin, daß die Beeinträchtigung durch Verzerrung an den Randgebieten nicht sehr groß ist. Das Tier sieht hier ja immer alle Gegenstände verzerrt, Es ist also daran gewöhnt und erkennt die Erscheinungen trotz der Verzerrung. Die beiden Augen neigen nach vorn etwas zusammen. In geringer Entfernung vor dem Kopfe besteht eine Zone, von der aus beide Augen erregt werden. Dieses binoculäre Sehen ermöglicht leichter, die Entfernung eines Gegenstandes zu erkennen, was biologisch von hoher Bedeutung ist. Das Tier stürzt sich von seinem Versteck aus auf die Beute. Es muß die Entfernung abschätzen können.

2. Neuroptera.

a) *Sialidae*
b) *Megaloptera.*

a) *Sialidae.*

Es wurden untersucht:

Raphidia ophiopsis SCHUM.
Sialis lutaria L.

Raphidia ophiopsis SCHUM.
(Fig. 4, 4A–C.)

Das Auge hat die Form einer Ellipse. Doch unterscheiden sich deren beide Durchmesser nicht beträchtlich. Auch hier gilt, was

bei *Panorpa* über den Bau des Gesamtauges gesagt ist. Das Loch im Boden der Chitinkapsel, in die das Auge eingebettet ist, wird von der Basalmembran geschlossen. Die Nervenbündelschicht ist wie bei *Panorpa* proximal von einer Membran begrenzt, ebenso sind die Ganglien von einer Membran umhüllt.

Die Cornealinse färbt sich nicht gleichmäßig (Fig. 4). Nach außen grenzt sich eine ungefärbte dünne Schicht ab. die stark lichtbrechend ist. Darunter folgt eine geschichtete Masse. Die unterste Lage färbt sich stark. Die Linse ist bikonvex; nach innen ist die Wölbung nur wenig stärker als nach außen. Die Krystallkegelzellen schmiegen sich eng der inneren Wölbung an. Ihre distale Begrenzung bildet einen flachen Becher. Die Kerne der Zellen sind groß, bläschenförmig und enthalten wenig Chromatin. Der Krystallkegel ist stark lichtbrechend und resistent. Ein dunkel sich färbender Kern ist von einem kaum gefärbten hellen Hof umgeben. Die Krystallkegelhülle, die Wand der ursprünglichen Krystallkegelzellen, ist derb und färbt sich stark. Proximal verlängert sie sich in einen Faden, der bis zum Rhabdom reicht.

Die Retinula ist ziemlich schlank, von der Krystallkegelspitze bis zur Basalmembran nahezu gleichmäßig dick. 7 Kerne liegen am distalen Ende der Retinula, der 8. am proximalen, dicht über der Basalmembran. 7 Zellen sind in der ganzen Länge der Retinula vorhanden. Die 8. schiebt sich erst kurz über der Basalmembran zwischen die anderen ein (Fig. 4B). Sie ist kurz, besitzt einen großen Umfang, wie der Querschnitt zeigt. ist also blasenförmig. Jede Retinula besitzt 2 Rhabdome, die ganz verschieden gestaltet sind. Das eine ist ein Stab. dessen Querschnitt kreisrund ist. Es reicht von der Krystallkegelspitze bis nahezu an die Basalmembran heran. Das andere, Nebenrhabdom, besitzt etwa $^1/_4$ der Gesamtlänge der Retinula. Es gehört der proximalen Hälfte der Retinula an und reicht etwa bis zur Mitte derselben. Es färbt sich weniger stark, sein Querschnitt ist 3lappig. Es besteht aus 3 Leisten, die in der Achse der Retinula zusammenstoßen. An seiner Bildung sind wohl 4 Zellen beteiligt. 2 von diesen beteiligen sich gleichzeitig am stabförmigen Rhabdom. Dieses wird also im Bereiche des 3lappigen Rhabdoms von 5 Zellen gebildet. Proximal sowie distal von letzteren nehmen alle 7 Zellen an der Bildung des stabförmigen Rhabdoms teil. Soweit das Nebenrhabdom ausgebildet ist, ist die Retinula vollständig frei von Pigment. Distal sowohl wie proximal davon ist die Retinula dicht mit Pigment erfüllt.

Bemerkenswert ist diese Zwischenstellung des vorliegenden Auges. 2 Rhabdome sind in jeder Retinula vorhanden. Eines derselben ist stabförmig. Diese Form findet sich häufig bei Appositionsaugen (vgl. *Panorpa*). Das andere trägt den Charakter des Superpositionsauges an sich. Bei ihm drängt sich ein Vergleich mit den noch zu beschreibenden Megalopteren auf. Ergänzen wir das Bild, welches der Querschnitt liefert, durch sein Spiegelbild, so erhalten wir eine 6strahlige Figur, die sich kaum vom Querschnitt eines Rhabdoms der Megalopteren unterscheidet. Das vorliegende Gebilde ist also die Hälfte eines Rhabdoms, wie es die Megalopteren besitzen.

Die Hauptpigmentzellen enthalten kein Pigment. Von Plasma ist kaum etwas zu sehen. Die Kerne liegen dem distalen Ende des Krystsllkegels genähert, der Krystallkegelhülle dicht an. Ein Kranz von 12 Nebenpigmentzellen umgibt das einzelne Omma, doch so, daß die Zellen auch den 6 benachbarten Ommatidien zugehören. Die Nebenpigmentzellen reichen bis an das distale Ende der Retinula.

Sialis lutaria L.
(Fig. 5—8.)

Der Umfang des Auges ist eine Ellipse, deren Längsachse beträchtlich länger als die Querachse ist. Eine Differenzierung des Auges wie bei *Panorpa* fehlt hier. Zu erwähnen ist ein Organ, das am caudalen Rand des Auges gelegen, mit diesem in Beziehung steht. Auf seinen Bau möchte ich später zurückkommen (siehe unten: pigmentiertes Organ). Die Cornea färbt sich einheitlich (Fig. 6). Jede Facette bildet eine bikonvexe Linse. Die Krümmung beider Begrenzungsflächen ist gleich stark. An jede Facette setzt sich innen ein geschichteter Fortsatz an, der schwach gefärbt ist, ein Processus corneae, wie Johnas ähnliche Gebilde bei Schmetterlingen nennt. Auch Kirchhoffer hat solche bei Käfern gefunden. Doch fehlt dort, wo sie vorhanden, der Krystallkegel. Eine Trennung zwischen eigentlicher Facette und Processus ist nicht zu erkennen. Nur die verschiedene Färbung unterscheidet beide, ganz entsprechend dem Verhalten der Cornea bei vielen Tieren, an der man durch die Färbung 2 Lagen unterscheiden kann. Der Processus ist von einer Membran umhüllt, die herunterzieht zu den Krystallzellkernen. Eine Zusammensetzung aus Segmenten, entsprechend der bei Krystallkegeln, konnte ich nicht erkennen. Man wird annehmen dürfen, daß

der Processus eine äußere Abscheidung der Krystallzellen ist, während der Krystallkegel ein Plasmaprodukt im Innern der Zellen ist. Zwischen den Processus bilden die Nebenpigmentzellen, die bis an die Cornea reichen, ein Rahmenwerk. Die Krystallzellkerne sind sehr klein und in den randlichen Spaltraum verdrängt, den zwischen Processus und Krystallkegel die Krystallkegelzellen einnehmen. Sie enthalten wenig Chromatin. Die Krystallkegel sind klein, aber resistent und stark lichtbrechend, im Gegensatz zum Processus. Die Krystallkegelhülle ist zart und hatte sich immer beträchtlich vom Kegelkern abgehoben. Sie verjüngt sich in eine Spitze, die sich in die Retinula einsenkt.

In gleichförmiger Ausbildung und Dicke reicht die Retinula von der Krystallkegelspitze bis zur Basalmembran. Wieviel Zellen sich an ihrer Bildung beteiligen, konnte ich leider nicht feststellen, da Zellgrenzen nicht zu sehen waren. Die Kerne konnte ich nicht zählen, da es mir nicht gelungen ist, vollständige Querschnittserien herzustellen. Am distalen Ende fand ich eine Anzahl (vermutlich 7) Kerne beisammen. Ein weiterer Kern liegt etwas unter der Mitte der Retinula. Das Rhabdom ist in seiner ganzen Länge, von der Krystallkegelspitze bis zur Basalmembran, gleichmäßig ausgebildet. Die Sehzellen sind in ihrer ganzen Länge, jedoch nicht sehr stark, pigmentiert. Das Pigment ist in den Zellen peripher angeordnet, wie bei *Panorpa*.

Von den Hauptpigmentzellen sind nur die Kerne zu sehen, die etwa in der Mitte des Krystallkegels dessen Hülle dicht anliegen. Die Nebenpigmentzellen zeigen, wie bemerkt, auf Querschnitten eine netzartige Anordnung. Jeder Krystallkegel ist von einem Kranz von 12 Zellen umgeben. Sie reichen noch proximal etwas über die Zone hinaus, in der die Kerne der Retinula liegen. Ihre Kerne sind oval und liegen längs des Krystallkegels etwas zerstreut. Sie isolieren jedes Facettenglied vollständig, von der Cornea bis zur Krystallkegelspitze.

Pigmentiertes Organ.

Auf dem Frontalschnitt (Fig. 5) erkennen wir die Lage des Organs und seine Beziehung zum Auge. Fig. 7 stellt das Organ allein dar. Es besteht in seiner Hauptmasse aus großen, birnförmigen Zellen, die dicht erfüllt sind von Pigment. Ihre Kerne sind nahezu kugelförmig und enthalten wenig Chromatin, meist ein größeres Korn und einige kleinere. Jede Zelle verlängert sich an ihrem

spitzeren Ende in einen faserigen Fortsatz. Diese Fortsätze der Zellen vereinigen sich zu Bündeln (Fig. 8). Aus Mangel an Material — ich hatte schon alles geschnitten, als ich auf das Gebilde aufmerksam wurde — war es mir nicht möglich, zu sehen, wohin diese Bündel verlaufen, vermutlich zum Ganglion opticum. Auch konnte ich nicht feststellen, wie weit die Fortsätze der einzelnen Zellen in den Bündeln reichen. Im ganzen konnte ich 4 solche Faserbündel feststellen. Ein Nerv, der vom Ganglion opticum kommend, in das Organ eintritt, scheint mit diesen Faserbündeln in Verbindung zu stehen (Fig. 7). Die Faserbündel sind der dem Auge abgewandten Oberfläche des Organs genähert. Zahlreiche, zum Teil recht große Tracheen treten an das Organ heran. Sie lassen um die dem Auge abgewandte Oberfläche ein dichtes Flechtwerk feiner Tracheen entstehen. An manchen Stellen sah ich Tracheen ins Innere des Organs eintreten. Sie waren aber nicht weiter zu verfolgen. Ob sie sich verzweigen, so daß ganz dünne Röhrchen zwischen den Zellen verlaufen, konnte ich nicht feststellen. Auch in die Faserbündel treten Tracheen ein. Zwischen den pigmentierten Zellen findet sich wenig Bindegewebe. Das Organ ist von solchem umhüllt. Außer den Kernen der großen pigmentierten Zellen sieht man auch solche von ovaler Form und Struktur wie bei den anderen Zellen. Wahrscheinlich gehören sie den Bindegewebszellen an. Bei Betrachtung eines Querschnitts fallen 2 quer getroffene Kanäle auf: deren Lumen ist erfüllt von einer Masse, die sich färberisch genau verhält wie die Krystallkegel (Fig. 8). (Auch auf Längsschnitten Fig. 7 war schon ein solcher getroffen.) Die Kanäle reichen in das Auge herein bis nahe an die Cornea und beginnen etwa in Höhe der Basalmembran des Auges. 2 der oben erwähnten Faserbündel verlaufen dicht neben diesen Kanälen. Sie hören, gegen die Cornea des Auges zu, in gleicher Höhe mit den Kanälen auf. Im Auge finden sich in der Umgebung der 2 Kanäle und distal bis an die Cornea ebenfalls pigmentierte Zellen. Diese nehmen eine Zwischenstellung ein zwischen den Zellen des Organs und den Nebenpigmentzellen. Ihre Form gleicht mehr der der Organzellen. Die Kerne dagegen unterscheiden sich kaum von denen der Nebenpigmentzellen. Über die Funktion des Organs wage ich vorerst nichts auszusagen.

b) *Megaloptera.*

Es wurden untersucht:

Chrysopa vulgaris Schneid.
Chrysopa perla L.
Chrysopa phyllochroma Wasm.
Osmylus chrysops L.
Myrmeleon formicarius L.
Ascalaphus macaronius Scop.

Chrysopa vulgaris.

(Fig. 9. 10, 10A—H.)

Die äußere Form der Augen ist eine vollkommene Halbkugel. Durch ihre Größe und dunkle Farbe fallen sie sofort am hellgefärbten Kopfe auf. Die Basis der Augen geht der Sagittalebene des Kopfes nahezu parallel, nur wenig neigt sie rostral der Mitte des Kopfes zu. Fig. 9 zeigt einen Querschnitt des Kopfes. Die Cornea bildet eine Kugelschale. Von ihrem Rand springt eine Chitinlamelle gegen den Mittelpunkt vor. In der Mitte läßt sie einen kleinen Kreis frei. An dem inneren. freien Rande der Chitinlamelle setzt sich die Basalmembran an, die konzentrisch zur Cornea gewölbt ist. Sie verschließt so das Loch in der Chitinlamelle. Wie die Radien einer Kugel strahlen die Ommatidien mit gleicher Divergenz von der Basalmembran gegen die Cornea aus. In der Nervenbündelschicht. die auch hier proximal durch eine Membran begrenzt wird, liegt neben jedem Nervenbündel, das als Fortsetzung einer Retinula durch ein Loch in der Basalmembran durchtritt, ein Kern. Dieses Verhalten gilt für alle untersuchten Megalopteren. Bei *Ascalaphus*, wo die Tracheen sich gut als solche erkennen lassen, konnte ich feststellen. daß diese Kerne den Tracheen angehören. Das 1. Ganglion opticum liegt zum größten Teil in dem Gewölbe der Basalmembran. Es wird von einer Membran gegen das Auge abgegrenzt.

Die Cornealinse besteht aus 2 Lagen, die sich beim Schneiden häufig voneinander trennen. Die äußere bikonvexe Lage ist sehr resistent und färbt sich mit Eisenhämatoxylin tiefdunkel, während die geschichtete Lage darunter hell bleibt. Sie ist distal wenig konvex, proximal nahezu plan. Die Krystallkegel sind äußerst resistent. Vielfach sind sie beim Schneiden in ihre 4 Segmente

zersprengt. Gelegentlich wurde ein Kegel bis in die Mitte des Auges mitgerissen, bevor er durchschnitten ward. Bei Färbung mit Delafield's Hämatoxylin nimmt der Krystallkegel keinen einheitlichen Farbenton an. Von seiner Achse nach der Peripherie stufen sich zahlreiche Zonen durch ihre verschieden starke Färbung ab. Darin spricht sich deutlich der Aufbau des Kegels aus Schichten verschiedener Dichtigkeit aus. Die 4 Krystallkegelzellen führen kaum Plasma. Die Kerne sind abgeplattet und liegen der flachen Kegelbasis auf. Die Krystallkegelhülle ist ziemlich dick. Sie färbt sich wie der Kern des Krystallkegels schwarz. Gelegentlich wurde sie beim Schneiden vom Kern abgestreift, behielt aber dabei ihre Gestalt. Zwischen ihr und dem Kern findet sich eine helle Zone. Daß sie aus weicher Substanz besteht, geht aus der Lostrennung von Kern und Hülle hervor. Die Krystallkegelhülle spitzt sich proximal zu und zieht sich in einen langen Faden aus. Seine Zusammensetzung aus 4 Segmenten kann man ziemlich weit proximalwärts verfolgen (Fig. 10B). Auf tieferen Querschnitten sieht man dann ein Kreischen mit ungefärbter Mitte. Noch im distalen Teil der Kernanschwellung der Retinula konnte ich dieses Kreischen erkennen. Das Plasma der umgebenden Retinulazellen hebt sich dagegen durch seine dunkel gefärbten Körner ab. Die ursprünglichen Krystallkegelzellen sind also sehr lang, bilden aber nur in ihrem distalen Teil den eigentlichen Kegel aus. Kirchhoffer beschreibt bei Cicindeliden und einigen anderen Käfern auch eine Verlängerung des Krystallkegels. Allerdings hat sie dort eine etwas andere Form. So schwillt bei Carabiden, Dytisciden und *Gyrinus* der Teil, der sich in die Retinula einsenkt, kolbenartig an. Chun nennt diesen Verbindungsfaden von Krystallkegel und Rhabdom den Achsenfaden und nimmt an, daß es ein Bündel der sehr verdünnten Retinulazellkörper ist. Bei den Sergestiden betrachtet er den Faden als Verlängerung des Krystallkegels. Grenacher und Parker rechnen ihn ebenfalls dem Krystallkegel zu. Hesse sagt, daß es schwierig sei festzustellen, wo der Krystallkegel aufhöre und die Retinula anfange, sonst wären nicht Beobachter wie Leydig und Schultze hierüber zu entgegengesetzten Ansichten gekommen. Bei den Megalopteren nun glaube ich feststellen zu können, daß es der Krystallkegel ist, der sich in einen Faden auszieht, welcher sich mehr oder weniger tief in die Kernanschwellung der Retinula einsenkt.

Die Retinula gliedert sich in Kernanschwellung und Rhabdom-

teil. Zwischen diesen beiden zeigt sich eine leichte Einschnürung. Nur proximal vom Rhabdom enthalten die Retinulazellen Pigment. Eigenartig reizvoll sind die Bilder, welche man auf Längsschnitten erhält (Fig. 10). Die Grundsubstanz des Plasmas färbt sich kaum. Sie ist aber dicht erfüllt von Körnern, die wie das Chromatin der Kerne gefärbt sind. Diese Körner halten den Farbstoff noch fester als das Chromatin, denn letzteres kann man entfärben, ohne daß sich die Körner merklich bleichen. Auch mit Delafield's Hämatoxylin färben sie sich, doch etwas weniger als das Chromatin. Methylenblau und Säurefuchsin färben sie nicht. Kirchhoffer erwähnt von einigen Käfern (*Trichius*, *Cetonia*, *Geotrupes*) ein ähnliches Verhalten des Plasmas. In jeder Retinula habe ich 8 Kerne gezählt. 7 liegen in einer Anschwellung der Retinula beisammen, der 8. am distalen Ende des Rhabdoms. Das Chromatin der Kerne liegt zusammengeballt, umgeben von einem hellen Hof. Die Vorfärbung mit Bordeauxrot ermöglichte mir die Zellgrenzen zu erkennen. Sie färbten sich wie das Rhabdom rot. In der Kernanschwellung kann man 7 Zellen erkennen (Fig. 10C). Diese endigen distal etwa auf gleicher Höhe. Verfolgt man die Retinula auf Querschnitten in proximaler Richtung, so sieht man sie etwas kleiner werden infolge der Einschnürung der Retinula über dem Rhabdomteil. Das Plasma wird etwas heller, da weniger Körner vorhanden sind. In Höhe der Linie *D* Fig. 10 stellt sich die 8. Zelle ein. Die Körner ihres Plasmas sind etwas kleiner und zahlreicher. Dadurch unterscheidet sie sich von den übrigen Zellen (Fig. 10D). Auf noch tieferen Querschnitten besteht die ganze Mitte der Retinula aus einem Gewirr von Fasern (Fig. 10), die sich von einer fast ungefärbten Grundmasse abheben. Umhüllt ist dieses Gebilde von einem dünnen Plasmabeleg, in welchem der 8. Kern liegt. Eine Lamelle mit körniger Struktur (diese ist ähnlich wie sie oben für die 8. Zelle beschrieben wurde) springt vom Plasmabeleg ins Innere vor. Dies ist die 8. Zelle. Sie beteiligt sich auch noch ein wenig an der peripheren Plasmaumhüllung. Wie Fig. 10E zeigt, verlaufen die Fasern von der Lamelle zum peripheren Plasmabeleg. Verfolgt man das Gebilde auf tieferen Schnitten, so sieht man das Rhabdom von einer Seite her zuerst auftreten und zwar entgegengesetzt der Stelle, von der aus die Lamelle vorspringt. Die Lamelle verkürzt sich mehr und mehr, bis schließlich das Rhabdom die ganze Retinula erfüllt. Der Längsschnitt links in Fig. 10 zeigt, wie das beschriebene Gebilde dem Rhabdom aufsitzt. Im Ommatidium rechts ist die Lamelle ge-

troffen. Ich betrachte das Gebilde als Rhabdomer der 8. Zelle, die sich unter der Kernanschwellung allmählich zwischen die übrigen einschiebt und am Anfang des Rhabdoms wieder aufhört. Der Kern liegt in dem Teil der Zelle, der sich an dem peripheren Plasmabeleg beteiligt. Die Retinulae sind im Bereich dieses Rhabdomers durch Plasmabrücken untereinander verbunden. Durch die dabei freibleibenden Interzellularräume setzen sich die Nebenpigmentzellen durch. Auf Querschnitten (Fig. 10E) konnte ich diese nicht wahrnehmen; da sie äußerst dünn sind, könnten sie sich den Retinulae angeschmiegt haben, so daß sie nicht von diesen zu unterscheiden sind. Auf Längsschnitten dagegen kann man sehen, daß sie bis zur Basalmembran reichen. Zur Kontrolle fixierte ich auch mit FLEMMING'scher Lösung. Das Rhabdomer färbt sich dann fast gleichmäßig, läßt eine Streifung nur vermuten, unterscheidet sich aber scharf durch seine Färbung vom eigentlichen Rhabdom.

Das Rhabdom ist konisch. Distal ziemlich breit, verjüngt es sich proximal und endet in einiger Entfernung über der Basalmembran. Sein Querschnitt ist im distalen Teil 6strahlig. Vielfach zeigte einer der Strahlen eine Verbreiterung mit schwacher Einkerbung (Fig. 10F). Dies ist eine Andeutung des 7. Rhabdomers. Die 7. Zelle scheidet also im Bereich des Rhabdoms aus der Retinula aus, sie ist nur distal entwickelt. Ob sie sich in eine Nervenfaser fortsetzt, vermag ich nicht zu sagen. Proximal werden die Einkerbungen des Rhabdoms schwächer, der Querschnitt nahezu kreisförmig. An manchen Präparaten zeigt das Rhabdom Spalträume, die sich weniger färben. Gewöhnlich erhielt ich bei bestimmter Differenzierung ein Bild, wie Fig. 10F u. G es zeigen. Von einer dunklen Mittellamelle in jedem Strahl geht eine feine Streifung aus. In der Achse, wo die Retinulazellen zusammenstoßen, besteht ein feiner Intercellularraum. Vielleicht rührt er von einer geringen Schrumpfung her.

Es ist ein Tracheentapetum vorhanden. Tracheen dringen durch die Basalmembran ein, mit den Nervenfasern, und verzweigen sich teilweise erst im Auge. Je 6 bilden eine Scheide um den Rhabdomteil der Retinula. Auf Längsschnitten ist von den Tracheen kaum etwas zu sehen. Man sieht sie auch nicht durch die Basalmembran durchtreten. Um so überraschender wirken Querschnitte (Fig. 10G u. H). Jede Retinula hat einen sternförmigen Querschnitt, entsprechend dem 6strahligen Rhabdom. Um jede Ausbuchtung legt sich ein bohnenförmiges Gebilde. Benachbarte berühren sich nahezu,

so stellen sie zusammen eine bis auf einige Spalten geschlossene Hülle um die Retinula her, sich deren Ausbuchtungen anschmiegend. Was sollen diese Gebilde bedeuten? Diese Frage konnte ich erst bei *Osmylus* und noch besser bei *Myrmeleon* beantworten; denn dort kann man den Durchtritt der Tracheen durch die Basalmembran verfolgen. Bei *Chrysopa* ließ sich nur vermuten, daß es sich um Tracheen handelt. Verfolgt man die Querschnitte, so werden die Gebilde kleiner bei Annäherung an die Basalmembran. Schließlich sind sie überhaupt nicht mehr zu sehen. Eine diffuse Helligkeit, ein glänzender Schimmer ist ihnen eigen. Sie besitzen eine hohe Lichtbrechung. Dicke Wände umhüllen einen spaltförmigen Hohlraum. Man sieht an den Wänden nur die äußere Begrenzung deutlich, die innere kaum. Daher erwecken die Gebilde den Anschein, als seien sie solide, wie Dietrich dies annahm. Da die Wände ziemlich dick sind, klaffen die Tracheen auch ohne die gewöhnliche Spirale, die innerhalb des Auges fehlt. Diese Veränderung der Tracheenwände erhöht ihre Fähigkeit, alles Licht, welches aus dem Rhabdom austritt, diesem wieder zurückzustrahlen. Die Tracheen reichen distal bis nahezu an das Ende des Rhabdoms.

Über die Hauptpigmentzellen war mir folgende Notiz von Hesse bekannt: „Die beiden Hauptpigmentzellen der Insekten dagegen findet Grenacher bei allen Arten mit Ausnahme von *Phryganea*, wo sie ihm entgangen seien; vielleicht sind sie dort so unbedeutend wie bei *Chrysopa perla*, wo ich die beiden zugehörigen Kerne regelmäßig am Kristallkegel in der Nähe seiner proximalen Spitze finde.“ Ich suchte an der Stelle, konnte aber nichts finden. Auf Querschnitten wurde ich zuerst auf die Hauptpigmentzellen aufmerksam. Sind solche direkt unter der Cornea geführt, so müssen bei einiger Aufmerksamkeit an 2 entgegengesetzten Stellen des Krystallkegels 2 dunkel gefärbte Höckerchen auffallen (Fig. 10A). Dies sind die Kerne der Hauptpigmentzellen, wie ich denn auf Längsschnitten mit Sicherheit erkannte. Auf diesen findet man die Kerne nur, wenn man weiß, wo sie liegen: denn sie sind sehr flach, färben sich wie die Krystallkegelhülle schwarzblau und schmiegen sich dieser vollkommen an. Nur ein ganz geringer Plasmarest umgibt sie. Pigment enthalten sie keines. Mit dem proximalen Ende der Kerne hören die Zellen auf. Distal reichen sie an die Cornea heran (Fig. 10). Jedes Ommatidium ist von einem Kranz von 12 Nebenpigmentzellen umgeben. Diese gehören aber zugleich den 6 benachbarten Ommatidien an. Sie reichen an der Cornea bis zur

Basalmembran. Distal enthalten sie das Irispigment, proximal das Retinapigment. Die Zellen sitzen der Cornea mit sockelförmigem Fuße auf. Zwischen den Krystallkegeln werden sie schmäler, schwellen aber an deren Spitze wieder stark an. Zwischen dem Krystallkegelfaden und dem Kranz der Pigmentzellen bleibt schließlich kein Zwischenraum mehr. So ist der ganze Raum zwischen den Krystallkegeln und den distalen Enden der Retinulae von den Pigmentzellen ausgefüllt. Nur die äußerst dünnen Krystallkegelfäden durchsetzen diese Füllmasse. Wo das Rhabdom beginnt, werden die Pigmentzellen sehr dünn. Fadenförmig ziehen sie zwischen den Tracheen zur Basalmembran herab, der sie wieder mit verbreitertem Fuße aufsitzen. Nur ganz am proximalen Ende enthalten sie wenig Pigment. Das Irispigment reicht bei Dunkelstellung von der Cornea bis zur Krystallkegelspitze; bei Lichtstellung von der Krystallkegelspitze bis zum Rhabdomteil der Retinula. Die Kerne der Nebenpigmentzellen sind lang oval mit kleinem Querschnitt. Sie liegen in Höhe der Krystallkegelspitze. Auf Längsschnitten sieht man in den Pigmentzellen dunkel gefärbte Fasern, die proximal bis in die Gegend des Rhabdoms reichen. Auf Querschnitten sind sie durch dunkle Punkte markiert, in jeder Zelle eine. Es werden wohl Stützfasern sein.

Chrysopa phyllochroma Wasm.

(Fig. 11, 11A—D.)

Das Ommatidium ist etwas schlanker gebaut. Das isolierte 8. Rhabdomer ist kleiner und hebt sich weniger scharf ab. Immer ist es vollkommen homogen gefärbt. Die Ausbildung eines 7. Strahles am distalen Rhabdomende ist etwas deutlicher. Auf die Verschiebung der Kernanschwellung (Fig. 11) möchte ich später zurückkommen. Auf Querschnitten durch das Rhabdomende sind nur 6 Zellen sichtbar. Es setzen sich nur die 6 Retinulazellen, welche das Rhabdom bilden, in Nervenfasern fort. Das Netzwerk, welches jedes Omma umrahmt (Fig. 11D), wird von den Enden der Nebenpigmentzellen gebildet. Bei *Myrmeleon* ist diese Erscheinung viel deutlicher, ich möchte dort näher darauf eingehen. Im übrigen gleicht das Auge vollkommen dem von *Chrysopa vulgaris*.

Chrysopa perla L.

Die Retinula reicht weiter distal; der Faden des Krystallkegels ist entsprechend kürzer. Das 8. Rhabdomer ist kaum ausgeprägt. Das Chromatin der Kerne ist nicht zusammengeballt, sondern in kleinen Körnern im ganzen Kern verteilt.

Osmylus chrysops L.
(Fig. 12, 12A—C.)

Das Auge ist dem von *Chrysopa* sehr ähnlich. Eine eingehende Beschreibung ist daher überflüssig. Die äußere Form des Gesamtauges ist genau gleich; das Auge ist nur wenig größer. Während der Krystallkegel bei *Chrysopa* in seiner ganzen Länge fast gleich dick ist, um sich dann plötzlich zu verjüngen, nähert er sich hier mehr der Kegelform und ist verhältnismäßig kleiner. Die Kerne der Hauptpigmentzellen liegen weiter proximal. Soweit ich es erkennen konnte, reichen die Zellen nicht an die Cornea heran. Die Retinula besteht aus 8 Zellen. Da die Zellgrenzen deutlich sind, konnte ich die Gestalt der 8. Zelle leicht feststellen. Selbst auf Längsschnitten kann man ihre Form erkennen (Fig. 12). Sie liegt auch hier am distalen Ende des Rhabdoms. An ihrer breitesten Stelle, da wo der Kern liegt, stößt sie in der Achse der Retinula mit den übrigen Zellen zusammen. Von der Rhabdombildung ist sie ausgeschlossen und bildet auch, im Gegensatz zu *Chrysopa*, kein isoliertes Rhabdomer. Die Kernanschwellung, in der die übrigen Zellkerne beisammen liegen, liegt weiter distal als bei *Chrysopa*. Die Retinula ist zwischen ihr und dem rhabdombildenden Teil dünner. Das Chromatin der Kerne ist zu einer Kugel zusammengeballt. Zwischen Chromatinmasse und Kernmembran liegt ein vollständig ungefärbter Hof. Das Plasma ist weniger dicht mit den dunklen Körnern angefüllt als bei *Chrysopa*. Diese sind außerdem kleiner. Das Rhabdom ist kleiner und spindelförmig. Distal verlängert es sich in eine feine Spitze. An seiner Bildung ist auch die 7. Zelle in der ganzen Länge des Rhabdoms beteiligt, doch ist sie schon reduziert. Fig. 12B zeigt 7 vollwertige Strahlen. Meist sind es nur 6 Strahlen, und einer von ihnen gabelt sich peripher in 2 Äste. Dies wird durch die 7. Zelle bedingt, die also nicht bis an die Achse des Rhabdoms heranreicht. Die Struktur des Rhabdoms, welche Fig. 12B zeigt, entspricht einer ganz bestimmten Differenzierung in

der Färbung des Präparats. Gewöhnlich färbt sich das Rhabdom gleichmäßig.

Das Tracheentapetum unterscheidet sich weitgehend von dem der übrigen Megalopteren, bei welchen jede Retinula von 6 Tracheen eingehüllt ist. Hier ist die Zahl der Tracheen viel größer. Auch sind sie nicht regelmäßig angeordnet. Ihr Querschnitt ist kreisförmig. Die Wände sind dünn und wenig lichtbrechend. Sie erfüllen die Zwischenräume zwischen den einzelnen Ommatidien und reichen nicht ganz bis an das distale Ende des Rhabdoms. Hier werden also zahlreiche, weniger gut ausgebildete und unregelmäßig verteilte Tracheen angewendet, um die Isolation zu erzielen. Querschnitte über der Basalmembran zeigten mir, wie sich die Tracheen vereinigen. Waren auf einem Querschnitt 2 solche nahe beisammen. so konnte man bei tiefer Einstellung sehen, wie sich die 2 Kreischen zu einem vereinigten. Durch die Basalmembran treten neben jeder Retinula meist nur wenige Tracheen ein. um sich innerhalb des Auges zu verzweigen. Die Verhältnisse liegen also etwa so wie bei manchen Libellen.

Die Nebenpigmentzellen reichen von der Cornea bis zur Basalmembran. Wieviel Retinulazellen durch die Basalmembran durchtreten ist schwer festzustellen. Meist zählte ich 7, gelegentlich auch 8. Die Zellgrenzen sind schlecht sichtbar. Außerdem sind bei manchen Zellen die Querschnitte sehr klein.

Myrmeleon formicarius L.
(Fig. 13, 13A—L.)

Das Auge ist wie bei *Chrysopa* und *Osmylus* eine Halbkugel, doch beträchtlich größer als bei den genannten Formen. Das Ommatidium ist viel länger. Der Umfang desselben ist etwa so groß wie bei *Chrysopa* und *Osmylus*. Da die Oberfläche des Auges größer ist, können somit weit mehr Ommatidien im Auge Platz finden. Dadurch wird die Sehtüchtigkeit des Auges erhöht. Die Kernanschwellung der Retinula ist weniger plump. Die Kerne liegen in 2 Gruppen. In der distalen finden sich 4 Kerne, in der proximalen 3. Die Kerne sind länglich oval. Die Strecke zwischen Kernanschwellung und Rhabdom ist sehr lang, der Abstand des Rhabdoms vom Krystallkegel daher bedeutend. Am distalen Ende des Rhabdoms liegt der Kern der 8. Zelle. Diese bildet ein Rhabdomer, das sich gleichmäßig, aber weniger intensiv färbt als das eigentliche Rhabdom.

Zwischen Rhabdom und Rhabdomer ist keine Trennungslinie zu erkennen, unmerklich geht das eine in das andere über (Fig. 13 u. 13F). Das Rhabdom ist von einem Kanal durchsetzt. Es zeigt denselben 6strahligen Querschnitt, wie er für alle Megalopteren bezeichnend ist. Durch die Basalmembran treten 8 Zellen. Das Tapetum weicht ein wenig von dem bei *Chrysopa* gefundenen ab. Die Tracheen verhalten sich distal anders als proximal. Proximal bis zu $^2/_3$ ihrer Länge führen die Tracheen Chitinspiralen. Bei starker Vergrößerung kann man auf Längsschnitten die Streifung erkennen, welche die Spirale verursacht. Der Querschnitt einer solchen Trachee ist ein Halbring (Fig. 13H). Das eine Ende desselben ist in die Retinula eingelassen, das andere liegt auf dem Gewölbe der benachbarten Trachee auf, so daß sie sich wie Dachziegel teilweise überdecken. So wird ein vollständiger Lichtabschluß der Retinula in dieser Gegend erreicht. Bei *Chrysopa* waren noch enge Ritzen zwischen den einzelnen Tracheen vorhanden. Im distalen Teil der Trachee fehlt die Spirale. Dort weisen die Tracheen im Präparat meist kein Lumen auf und überdecken sich nicht (Fig. 13G). In dem proximalen Teil ist also das Rhabdom vorzüglich isoliert, im distalen weniger gut. Der Durchtritt der Tracheen durch die Basalmembran ist gut zu erkennen. Man sieht, wie sich dieselben zu größeren Stämmen sammeln. Die Kerne der Hauptpigmentzellen haben dieselbe Lage wie bei *Osmylus*. Die Nebenpigmentzellen reichen von der Cornea bis zur Basalmembran. Sie sind häufig ein wenig geschrumpft. Ihr Plasma zeigt wenig Struktur, so daß man geneigt ist, an eine gallertige Beschaffenheit zu denken. In blaßrot gefärbter Grundmasse liegen einzelne stark dunkel gefärbte Körner (Eisenhämatoxylin, Vorfärbung mit Bordeauxrot). Soweit der Krystallkegel reicht, erzeugen die Nebenpigmentzellen auf Querschnitten ein Netzwerk. Bis zur Kernanschwellung umrahmen je 12 Zellen einen Krystallkegel. Diese gehören gleichzeitig dem benachbarten Krystallkegel an (Fig. 13A—C). Wo der Krystallkegel sich verjüngt, werden die Nebenpigmentzellen dicker. Sie füllen die Zwischenräume zwischen den Krystallkegelfäden vollkommen aus, für deren Durchtritt nur einen engen Kanal freilassend. Die Zellen zeigen sich im Querschnitt von geometrisch scharfen Linien begrenzt (Fig. 13C, E). In Höhe der Kernanschwellung sind die Zellen nicht scharf begrenzt. Zwischen ihnen treten Intercellularräume auf (Fig. 13D). Doch scheint mir, daß dies durch Schrumpfung verursacht ist. Zellgrenzen zwischen ihnen und den Retinulazellen sind nicht sichtbar.

Das Plasma der Retinulazellen erscheint jedoch im Präparat bläulich, das der Nebenpigmentzellen rötlich, sie heben sich so durch ihre Färbung gegeneinander ab. Proximal von der Kernanschwellung schließt sich um jede Retinula ein nur ihr zugehöriger Kranz von 6 Pigmentzellen zusammen (Fig. 13E). Unter den Pigmentzellen tritt also eine Verschiebung ein. Von den 12 Zellen, die distal ein Ommatidium umrahmen, scheiden 6 aus (sagen wir, die mit geraden Nummern) und schließen sich den benachbarten Ommatidien an. Die andern 6 (ungerade Nummern) schließen sich allein zu einem Kranz zusammen, der das Ommatidium umhüllt. Zwischen den Rhabdomteilen der Ommatidien sind die Pigmentzellen äußerst dünn. Das Irispigment reicht von der Cornea bis zur Kernanschwellung; die proximalen Enden der Nebenpigmentzellen sind von der Basalmembran bis zu dem Beginn des Rhabdoms pigmentiert. Das Pigment ist gelbbraun. Auch die Retinulazellen sind über der Basalmembran dicht erfüllt von Pigment, das schwarzbraun ist. Eine Erscheinung über der Basalmembran ist noch zu erwähnen. Das Ende der Nebenpigmentzellen ist hier von einer Hülle umgeben, die wohl von den Nebenpigmentzellen selbst ausgeschieden ist. Die Substanz färbt sich mit Eisenhämatoxylin schwarz. Die Ausscheidungen benachbarter Nebenpigmentzellen verschmelzen. So wird eine zusammenhängende Membran erzeugt, eine Schaltmembran (Fig. 13L). Die Nebenpigmentzellen stecken in Alveolen dieser Membran, wie aus dem Schnitt Fig. 13K zu ersehen ist, der parallel der Basalmembran durch diese Schaltmembran geführt ist. Jede Durchtrittsstelle einer Retinula ist von 6 hellen Ovalen umgeben, den Querschnitten der Nebenpigmentzellen.

Hesse beschreibt eine ganz ähnliche Bildung. Bei *Macroglossa*, *Sphinx* und *Plusia* hat er eine Schaltmembran beobachtet, während sonst überall die Einheitlichkeit des Epithels im Auge angedeutet war. Er sagt: „Bei *Macroglossa* kann man die Natur dieser Scheidewand klar erkennen. Es reichen nämlich die grossen Pigmentzellen, die gleichsam das Fachwerk bilden, in dem die Retinula stecken, nur bis an diese Membran. . . . Es ist demnach anzunehmen, dass die Schalt-Membran der ursprünglichen Basalmembran der epithelialen Augenanlagen entspricht und dass die Sehzellen mit ihren proximalen Enden über die Erstreckung des ursprünglichen Epithels hinausgewachsen sind. . . . Als wahre Basalmembran wäre die Schaltmembran zu bezeichnen.“ Johnas konnte diese Membran nicht finden, hat aber eine Schaltmembran bei den Hesperiden be-

obachtet. Man wird nicht zweifeln können, daß der Schaltmembran Hesse's die oben beschriebene Membran entspricht. Trifft dies zu, so wäre für *Macroglossa* anzunehmen, daß sich die Nebenpigmentzellen verkürzt und dadurch von der Basalmembran zurückgezogen haben, wie dies ja häufig beobachtet ist. An ihrem proximalen Ende haben sie die Schaltmembran ausgeschieden. Die Basalmembran dagegen würde auch bei *Macroglossa* an der proximalon Begrenzung des Auges beteiligt sein.

Ascalaphus macaronius Scop.
(Fig. 14. 15. 16, 17, 18, 18 A—C.)

Die Fixierung der Augen machte Schwierigkeiten. Immer trat eine so beträchtliche Schrumpfung ein, daß der Bau des Ommatidiums schwer zu erkennen war. Ich vermute, daß die Nebenpigmentzellen die Ursache der Schrumpfung waren. Sie bilden die Hauptmasse des Organs. Der hohe Wassergehalt ihres Plasmas verursachte die Schrumpfung. Erst mit Carnoy's Flüssigkeit erhielt ich Präparate, die kaum merklich geschrumpft waren. Ich möchte aber die Fixierung nicht allgemein empfehlen, da bei ihr die Färbung mit Eisenhämatoxylin nicht besonders gut wird.

Das Tier hat ein typisches Doppelauge. Schon Exner erwähnt dies. Das Dorsal-(Frontal)auge liegt dorsal rostral. Es wölbt sich mehr über die Oberfläche des Kopfes vor als das Seitenauge, das mehr ventral und caudal liegt (Fig. 14 u. 15). Die Grenze zwischen beiden Augen verläuft etwa parallel einem Querschnitt durch den Kopf. Die Augen liegen zwischen den dichten Haaren des Kopfes verborgen; man sieht sie nicht sofort. Die Augen selbst sind nicht behaart. Die Kopfhaare, die in den Ecken stehen, in welchen die Ränder der zwei Augenteile zusammenstoßen, neigen sich längs der Grenze beider Augenteile der Mitte derselben zu. Sie bilden so eine, allerdings unvollkommene, Scheidewand zwischen den Gesichtsfeldern beider Augen. Die beiden Augen unterscheiden sich beträchtlich durch ihren Bau, wie Fig. 16 zeigt. Der Schnitt ist etwa senkrecht zur Fläche gerichtet, in welcher die zwei Augenteile aneinanderstoßen. Das Dorsalauge ist an den Rändern stark gewölbt. Von diesen abgesehen ist die Oberfläche des Auges nahezu eben. Die Ommatidien sind viel länger als im Seitenauge, es ragt daher mehr über die Oberfläche des Kopfes und über das Seitenauge vor. Die Ommatidien stehen parallel nebeneinander; ihre Divergenz

ist selbst an den Rändern sehr klein. Die Cornea des Seitenauges ist ziemlich gleichmäßig gewölbt, im ventralen Teil desselben ist die Krümmung etwas stärker. Dorsal- und Seitenauge haben eine einheitliche Basalmembran, die an der Grenze beider einen Knick mit stumpfem Winkel bildet. Im Seitenauge ist die Basalmembran in ihrem ventralen Teil stärker gekrümmt als in dem Bezirk, der dem Dorsalauge zuliegt. In letzterem sind die Ommatidien auch kürzer als im ventralen Bezirk. Die Nervenbündelschicht ist ebenfalls einheitlich. Das gleiche gilt für die 2 Membranen zwischen Nervenbündelschicht und den Ganglien. Jedes Auge besitzt dagegen ein besonderes 1. Ganglion. Die Trennung in 2 Teile ist im 2. Ganglion noch angedeutet. Dasselbe macht wie die Basalmembran einen Knick. Es ist noch ein 3. und 4. Ganglion vorhanden. Das 1. Ganglion ist auf Längsschnitten gestreift. Auf Querschnitten sieht man, daß dies von Nervenbündeln herrührt, deren Zahl der der Ommatidien entspricht. Es setzt sich jedoch nicht einfach jedes Ommatidium durch die Nervenbündelschicht in das Ganglion opticum fort. Vielmehr vereinigen sich die Bündel der Ommatidien in der Nervenbündelschicht zu wenigen, dicken Nervensträngen, die sich über dem 1. Ganglion opticum wieder in zahlreiche kleine Bündel von etwa 7 Fasern verzweigen. Zwischen den beiden Membranen, welche die Nervenbündelschicht und das 1. Ganglion trennen, verlaufen sehr zahlreiche Tracheen. Diese dringen in die Nervenbündelschicht ein, um sich dort zu verzweigen. Sie bilden unter der Basalmembran ein dichtes Flechtwerk. Zu jedem Ommatidium geht ein Ast, an diesem fand ich immer direkt unter der Basalmembran einen Kern. Daher liegt neben jeder Austrittsstelle eines Ommatidiums unter der Basalmembran ein Kern.

Der Bau des einzelnen Ommatidiums weicht von dem der übrigen Megalopteren nicht unbedeutend ab. Im Grunde stellt es jedoch eine weitere Differenzierung des Ommatidiums dar, wie es für diese beschrieben wurde. Vor allem fällt es durch den langen Verbindungsfaden auf. Die Nebenpigmentzellen sind mächtig entwickelt.

Die Cornealinse ist bikonvex und beiderseits stark gewölbt. Sie ist gleichmäßig geschichtet. Jede Facette ist distal von einem gelben Rahmen eingefaßt (Fig. 18), besitzt also eine Blende. Schon Leydig beobachtete solche Umrahmungen bei Schmetterlingen und Käfern. Besonders bei ersteren sind sie ziemlich häufig, wie Johnas gefunden. Ebenso besitzen zahlreiche Dipteren solche Rahmen. Zwischen zwei Facetten, also da, wo distal der gelbe

Rahmen sich findet, ist die Cornea dünner (Fig. 18). Jede Linse besitzt einen kleinen Processus corneae, der sich nur wenig färbt. Er ist von den Wänden der Krystallzellen, die distal an die Cornea heranreichen, umhüllt (ähnlich wie der Krystallkegel von der Krystallkegelhülle). Er ist nicht wie der Krystallkegel aus Segmenten zusammengesetzt. Die Krystallzellen führen mehr Plasma als die der übrigen Megalopteren. Ihre Kerne sind bläschenförmig, enthalten wenig Chromatin und färben sich daher weniger als das Plasma, das dicht voll von dunklen Körnern ist. Der Krystallkegel ist resistent und äußerst stark lichtbrechend. Der Wechsel in der Dichte seiner Schichten ist schroff (Fig. 18). Im Innern kann man einen scharf begrenzten Kern unterscheiden. Die Krystallkegelhülle liegt dem dunklen Kern dicht an. Sie ist dünn und zieht sich nicht in eine Spitze aus, wie wir bei den übrigen Megalopteren gesehen. Das proximale Ende des Krystallkegels ist vielmehr abgerundet.

Ein Beispiel für die reiche Mannigfaltigkeit, die im Bau der Facettenaugen waltet, ist die hier vorliegende weitgehende Differenzierung des Ommatidiums. Ihre physiologische Bedeutung ist etwa folgende: zwischen den Krystallkegeln und der recipierenden Schicht besteht ein großer Zwischenraum, der von einer Art Glaskörper erfüllt ist. Die Retinula besteht aus 8 Zellen. Wir unterscheiden an ihr am besten folgende 3 Teile: Kernanschwellung, Verbindungsfaden und Rhabdomteil. Der 8. Kern liegt am distalen Ende des Rhabdoms. Im Dorsalauge liegt die Kernanschwellung in einiger Entfernung vom Krystallkegel und ist mit diesem durch einen etwas dünneren Strang verbunden. Die Retinula schließt sich der Rundung des Krystallkegels an. Im Seitenauge liegt die Kernanschwellung direkt unter dem Krystallkegel. Sie bildet einen Becher, in welchem der Krystallkegel eingesetzt ist. In der Kernanschwellung schwankt der Querschnitt der einzelnen Zellen sehr. Während die einen sehr groß sind, sieht man andere kaum. Der Verbindungsfaden, der sich anschließt, ist sehr lang und dünn. Er verbindet die Kernanschwellung mit dem Rhabdomteil. An ihm kann man die Zellgrenzen besser erkennen. Die Zahl der Zellen festzustellen ist auch hier kaum möglich, da der Querschnitt des Verbindungsfadens sehr klein ist. 1 oder 2 Plasmakörner können eine Zellgrenze vortäuschen. Die Körner im Plasma der Sehzellen färben sich wie bei den übrigen Megalopteren blau (Eisenhämatoxylin). Das Rhabdom hat auf dem Längsschnitt die Form eines Stabes.

Beide Enden sind kuppelförmig abgerundet. Proximal verjüngt es sich etwas. Wie der Querschnitt (Fig. 18 C) zeigt, sind an seiner Bildung nur 6 Zellen beteiligt. Der Querschnitt ist 6strahlig. Die einzelnen Flügel sind weit und fast bis zur Achse voneinander getrennt. Im Querschnitt zeigt jeder die Form einer Keule.

Die Ommatidien des Grenzbereiches zwischen Dorsal- und Seitenauge weichen in ihrem Bau von den übrigen etwas ab. Sie besitzen kein Rhabdom, sind also nicht befähigt, Licht zu percipieren. Dies ist das einzige Anzeichen von Reduktion. Die Krystallkegel sind gut ausgebildet.

Die Retinula ist von 6 Tracheen umhüllt, die bis nahe an das distale Ende des Rhabdoms reichen. Die Tracheen führen nur einen schmalen Hohlraum. Ein Spiralfaden fehlt innerhalb des Auges. Ihre Anordnung um die Retinula ist dieselbe wie bei *Chrysopa*.

Die Hauptpigmentzellen sind gut entwickelt; sie bilden um die proximale Hälfte des Krystallkegels eine Hülle, die sich diesen eng anschmiegt. Ihre Kerne sind klein und flach. Sie liegen etwas unter der Mitte des Krystallkegels (Fig. 18 u. 18B). Das Pigment ist hellgelb. Die Nebenpigmentzellen sind mächtig entwickelt. Sie enthalten aber verhältnismäßig wenig Pigment, da sich nur in ihren proximalen und distalen Enden solches findet. Seine Farbe ist braun. Das Irispigment reicht von der Cornea bis zur proximalen Spitze der Krystallkegel, das Retinapigment von der Basalmembran bis nahe dem distalen Ende des Rhabdoms. Letzteres bildet dünne Schnüre zwischen den Tracheen. Der ganze Raum zwischen den Krystallkegeln und den Rhabdomen ist vollständig frei von Pigment. Er ist fast vollständig ausgefüllt von den Nebenpigmentzellen. Ihre Anordnung ist genau dieselbe wie bei *Myrmeleon*. Je 6 bilden proximad der Kernanschwellung einen Kranz um das Ommatidium, dessen Verbindungsfaden sie dicht umhüllen. Ihre Färbung ist recht eigenartig. Mit Eisenhämatoxylin färben sie sich tief schwarzblau und lassen bei Fixierung mit Sublimat-Eisessig eine körnige Struktur erkennen. Delafield's Hämatoxylin färbt sie wenig. Eosin dagegen intensiv.

Das Gesichtsfeld des Dorsalteiles des Doppelauges ist nach oben und vorn gerichtet. Nur die Ränder vermitteln Bilder von Gegenständen, die sich seitlich befinden. Sie erweitern das Gesichtsfeld bedeutend. Das Seitenauge vermittelt Sinneseindrücke von unten und hinten. Die Gesichtsfelder beider Augen greifen nicht über-

einander, sondern berühren sich höchstens. Zwei Gründe sprechen dafür. Zwischen den Augen wird durch die Haare des Kopfes eine Art Scheidewand gebildet. Außerdem besitzen die Ommatidien des Grenzgebietes beider Augenteile kein Rhabdom. Sie vermögen also nicht das Bild, welches wohl durch Corneafacette und Krystallkegel erzeugt wird, zu percipieren. Den Krystallkegeln des Grenzgebietes kommt wohl eine Funktion zu, da sie nicht die geringste Reduktion erkennen lassen. Beim Superpositionsbild erzeugt ja eine große Zahl von Krystallkegeln einen Bildpunkt. Die Krystallkegel hier sind also an der Erzeugung der Bilder beteiligt, die auf den dem Grenzbereich benachbarten Rhabdomen erzeugt werden. Sehr rasch und in sicherem Flug schwirrt das Tier bei grellem Sonnenschein umher. Meist hält es sich nur wenig über dem Boden. Manchmal aber schießt es blitzschnell in die Höhe, so z. B. wenn ein Männchen ein Weibchen erspäht. Das Tier erjagt seine Beute im Fluge; denn nur in größeren Zwischenräumen setzt es sich irgendwo nieder, schlägt Vorder- und Hinterflügel übereinander und ruht aus. Bei dieser Gelegenheit läßt es sich bei vorsichtiger Annäherung leicht fangen. Das Sehvermögen muß ausgezeichnet sein. Eines der Tiere verzehrte, als ich es aus dem Netze nahm, ein weißliches, durchsichtiges kleines Insect. Da ich das Tier im Fluge gefangen habe, muß es seine Beute während seiner bedeutenden Geschwindigkeit erjagt haben. Es ist also befähigt, unscheinbare Gegenstände auch bei großer Geschwindigkeit zu erkennen. Denn man wird annehmen dürfen, daß es deshalb so rasch umherschwirrt, weil es Jagd auf Beute macht. Im Seitenauge ist der Gesichtswinkel des einzelnen Ommatidiums infolge der Divergenz der Ommatidien viel größer als im Dorsalauge. Das Dorsalauge unterscheidet sehr scharf die Formen, erkennt die Objekte nach ihrer Formerscheinung. Das Seitenauge sieht sehr gut Bewegungen, wobei das Formensehen weniger gut ist. Sein Gesichtsfeld ist gegen den Erdboden gerichtet mit seinen unzähligen Objekten. Das Ommatidium ist vom Krystallkegel bis zum Rhabdom vollständig frei von Pigment. Das Pigment liegt sowohl bei Licht- als bei Dunkeltieren nur zwischen den Krystallkegeln. Die Erzeugung eines Appositionsbildes ist also ausgeschlossen. Die gelben Rahmen, welche die Facetten einfassen, zerteilen das auf das Auge fallende Licht in einzelne Bündel. Ein großer Teil des Lichtes kann also gar nicht in das Auge eintreten. Die Strahlen eines Bündels, welche eintreten, werden durch die Cornea und den stark lichtbrechenden Krystallkegel gesammelt und zu einem Licht-

bündel von kleinstem Querschnitt vereinigt. Wir könnten dies als einzelnen Strahl betrachten. Es tritt an der Spitze des Krystallkegels aus und geht ungebrochen durch die Masse der Pigmentzellen zu der Rhabdomschicht. Jedes Rhabdom ist durch Tracheen und Pigmentzellen bis nahe an sein distales Ende isoliert. Der Lichtstrahl kann also nur am distalen Rhabdomende in das Rhabdom eindringen. Er kann nur ein Rhabdom treffen.

Folgende Tabelle möge die Größenverhältnisse für die Augen der untersuchten Megalopteren veranschaulichen:

	Chrysopa vulgaris	*Osmylus*	*Myrmeleon*	*Ascalaphus* Dorsalauge	*Ascalaphus* Seitenauge	*Ascalaphus* Stufe zw. Front- u. Seitenauge
Breite der Facette	20	20	21	31	24	22
Krystallkegel	55	50	74	63	49	36—46
Abstand d. Rhabd. vom Krystallkegel	48	90	210	490	345	—
Rhabdom	55	50	84	185	108	—
Ommatidium	187	240	390	820	524	—

Grenacher teilte die Komplexaugen 1. nach dem Bau des Krystallkegels, 2. nach der Beschaffenheit der Retinula. Nach dem Bau des Krystallkegels unterschied er acone, pseudocone und eucone Augen. Haben gleich mehrere Untersuchungen gezeigt, daß die Scheidung nicht so scharf ist, daß vielmehr Übergänge zwischen den 3 Typen sich häufig finden, so wird man trotzdem auch künftig diese Einteilung am besten beibehalten, mit dem Vorbehalt, daß Übergänge bestehen. Weniger gut ist Grenacher's Einteilung nach dem Bau der Retinula. Hier müssen wir scharf unterscheiden zwischen Appositionsauge und Superpositionsauge.

Die Augen der Megalopteren nun sind eucone Superpositionsaugen. Lassen wir zunächst *Ascalaphus* außer Betracht. Die Cornea besteht aus 2 Lagen: einer ungeschichteten außen und einer geschichteten darunter. Die Krystallkegelhülle ist resistent und färbt sich wie der Kern des Krystallkegels. Zwischen sie und den Kern schiebt sich ein weniger dichtes Medium ein. Nach Exner kommt der Krystallkegelhülle eine wichtige optische Bedeutung zu.

Soll ein scharfes Bild erzeugt werden, so dürfen nur an der Spitze des Kegels Lichtstrahlen austreten. In der Nähe der Spitze muß das seitliche Austreten von Lichtstrahlen verhindert werden, durch welches die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigt würde. Weiter distal am Krystallkegel können seitliche Strahlen austreten. Diese werden aber vom Pigment absorbiert. Exner sah nun bei seinen Versuchen in der Nähe der Spitze einen dunklen Ring. Die Hülle besitzt eine hohe Lichtbrechung, der ihr am nächsten liegende Teil des Krystallkegels dagegen nur eine geringe (heller Hof). Dieses optische Verhalten erzeugt die Erscheinung des dunklen Ringes. Die Hauptpigmentzellen zeigen eine eigenartige Lage und Beschaffenheit. Der Krystallkegel des *Ascalaphus* zeigt eine abweichende Struktur. Auch die Hülle ist weniger stark lichtbrechend. Das optische Verhalten des Krystallkegels ist also ein anderes. Die Hauptpigmentzellen bilden einen Trichter, der proximal den Krystallkegel einhüllt. Bei allen Megalopteren gliedert sich die Retinula, bestehend aus 8 Zellen, in Kernanschwellung, Verbindungsfaden und Rhabdomteil. Das Rhabdom hat einen 6strahligen Querschnitt und ist nur von einem dünnen Plasmabelag umgeben. Gelegentlich bemerkt man auf distalen Querschnitten (bei *Osmylus* mehr ausgeprägt) einen 7. Strahl am Rhabdom. Die Färbung des Plasmas der Sehzellen weicht von der gewöhnlichen etwas ab. Bei allen Megalopteren färbt es sich gleich. Hesse's Stiftchensaum konnte ich nicht beobachten. Eine Schichtung, als beständen die Rhabdome aus übereinandergeschichteten Blättchen, konnte ich sowohl hier wie bei den Trichopteren bei bestimmter Differenzierung in der Färbung erkennen. Die Nebenpigmentzellen reichen von der Cornea bis zur Basalmembran. Über der Basalmembran bilden sie eine Membran. Im Bereich der Rhabdome sind die Nebenpigmentzellen nur ganz dünne, kaum wahrnehmbare Fäden. Nur bei *Ascalaphus* sind sie auch hier etwas dicker und enthalten Pigment. Ein Tracheentapetum habe ich bei allen Megalopteren in etwa derselben Ausbildung gefunden. Schon Leydig hat diese Bildung im Facettenauge entdeckt. Bei der Öffnung des Auges eines Nachtschmetterlinges war er überrascht von der schönen, glänzenden Membran, die in der Tiefe des Auges liegt und auf den ersten Blick als Tapetum erkannt wird. Johnas berichtet von den Hesperiden: „Im Bezirk zwischen der Schaltmembran und der Membrana fenestrata sondern die Retinulazellen eine chitinöse Scheide ab, die entsprechend den Retinulazellen achtteilig, vollkommen rosettenförmig ist und

auch im gefärbten Präparat die gelbliche Färbung des Chitins aufweist. Es ist dies der einzige Fall, wo ich eine derartige Scheidenbildung beobachtet habe." Vergleicht man die Zeichnungen (Johnas, tab. 10 fig. 13), so springt die Ähnlichkeit dieser Gebilde mit den bei den Megalopteren als Tracheen erkannten noch mehr in die Augen. Nur sind sie bei den Hesperiden in größerer Zahl vorhanden, entsprechend der Zahl der Retinulazellen. Schultze hatte erkannt, daß die Tracheen da aufhören, wo der Sehstab dünner wird. Exner hat Klarheit geschaffen über die Bedeutung dieses Tapetums: „Ich kenne diese Art des Tapetums, wo gerade das untere, verbreiterte Ende des Sehstabes von der Tracheenmasse umhüllt ist, also da, wo es für die Reflexion am wichtigsten sein muß, nur bei den Nachtinsekten. Die Tracheen, wie sie bei Libellen vorkommen, die dick sind und weit nach vorne reichen, haben eine ganz andere Bedeutung. . . ." Vortrefflich schildert er nun die Wirkungsweise. Trifft ein Lichtstrahl auf eine Tracheenwand, so wird er ganz oder teilweise reflektiert. Der Teil, der nicht reflektiert wird, trifft auf Luft; wieder wird der Strahl teilweise oder ganz reflektiert. Sollte noch ein wenig Licht bis zur äußeren Tracheenwand gelangen, so wird es dort vollends reflektiert. Ähnlich wie bei Glaspulver kann kein Licht durchfallen. Alles wird diffus reflektiert dem Rhabdom zurückgestrahlt. Exner nennt es das vollkommenste Tapetum, das ihm aus dem Tierreich bekannt sei. An der Basis des Rhabdoms sind die Tracheen kleine kaum sichtbare Röhrchen mit dünner Membran. Hier kommt ihnen für die Lichtbrechung keine Bedeutung zu. Die Sehzellen sind von Pigment erfüllt, und dieses absorbiert das Licht, welches das Rhabdom durchsetzt hat. Parker hat für den Flußkrebs experimentell gezeigt, daß am distalen Rhabdomende ein lichtstarkes Bild entsteht, auch bei weniger intensiver Beleuchtung. Am proximalen Rhabdomende dagegen ist auch bei stärkster Beleuchtung das Bild sehr lichtschwach. Er mußte allerdings das Auge gefrieren lassen, um es montieren zu können. Man könnte ihm einwenden, die molekulare Beschaffenheit des Rhabdoms sei durch das Gefrieren verändert worden. Trotzdem haben seine Beobachtungen sehr viel für sich. Es gelangt also nur wenig Licht ins proximale Ende des Rhabdoms; dort wird es bei seinem Austritt vom Pigment absorbiert.

Eine Verschiebung des Irispigments konnte ich bei *Crysopa*, *Osmylus* und *Myrmeleon* feststellen (Fig. 11 u. 12). So können diese Augen sowohl Appositionsbilder als Superpositionsbilder erzeugen

Appositionsbilder werden bei Tag erzeugt. Bei Lichtstellung des Pigments ist der Raum zwischen den Krystallkegeln nahezu frei von Pigment. Dieses reicht etwa von der Spitze des Krystallkegels bis zum Rhabdom. Das Lichtbündel muß den äußerst feinen Kanal durchsetzen, der durch die Pigmentzellen führt (Fig. 13 C). Jeder Strahl, der nicht genau in der Richtung des Ommatidiums verläuft, wird ausgeschaltet, vom umgebenden Pigment absorbiert. Das erzeugte Bild ist sehr lichtschwach. Die Tiere zeigen sich bei Tag wenig lebhaft. Besonders *Osmylus*, den ich unter einem Brückengewölbe in großer Menge fand, konnte ich bequem mit der Hand ergreifen. Dies spricht dafür, daß die Tiere bei Tag nicht gut sehen. Zur Erzeugung des Superpositionsbildes wandert das Pigment alles distal und lagert sich in den Zwischenräumen zwischen den Krystallkegeln ein. Jetzt wird nahezu alles Licht, welches auf die Cornea trifft, auch ausgenützt, wird recipiert. In Verbindung mit der Pigmentverschiebung beobachtete ich stets eine Verschiebung der Kernanschwellung (Fig. 11 u. 12). Erwähnt habe ich dies nirgends gefunden. Dagegen ist es in einer Zeichnung Exner's zu sehen (tab. 5 fig. 48 u. 49). Für die Pigmentverschiebung wären wohl die Hauptpigmentzellen nur hinderlich. Deshalb sind sie an das distale Ende der Krystallkegel verlagert, nahe dem Ort ihrer ursprünglichen Funktion (der Corneabildung). Bei *Ascalaphus*, dem die Pigmentwanderung fehlt, finden wir die Hauptpigmentzellen in typischer Ausbildung.

3. Trichopteren.

Untersuchte Tiere:

Rhyacophilidae
- *Rhyacophila dorsalis* Curt.
- *Rhyacophila septentrionis* McLachl.

Limnophilidae
- *Halesus interpunctatus* Zett.
- *Stenophylax luctuosus* Pill.

Philopotamidae
- *Philopotamus montanus* Donov.

Polycentropidae
- *Polycentropus flavomaculatus* Pict.

Hydropsychidae
- *Hydropsyche angustipennis* Curt.

Der Bau der Augen ist bei den ersten 6 hier angeführten Arten übereinstimmend. *Hydropsyche* weicht etwas ab. Ihr Auge ist nach dem Typus der Appositionsaugen gebaut, während das Auge der übrigen Superpositions- und Appositionsbilder erzeugen kann, je nach der Pigmentstellung. Ich werde daher nur bei *Rhyacophila dorsalis* und *Hydropsyche* eine ausführliche Beschreibung geben. Von *Halesus* sind einige kleine Abweichungen zu erwähnen. Die Einheitlichkeit im Bau der Augen, welche bei den Arten dieser Familie waltet, wird zu dem Schluß berechtigen, daß auch bei der von Grenacher untersuchten *Phryganea grandis* nur geringe Abweichungen möglich sein werden. Die Schilderung Grenacher's stimmt in ihren Grundzügen mit meinen Befunden überein. Leider konnte ich *Phryganea grandis* nicht bekommen.

Rhyacophila dorsalis Curt.
(Fig. 19, 19A—H.)

Die Beschreibung gilt wörtlich genau für *Rhyacophila septentrionis*, nach welcher Fig. 20 gezeichnet ist. Bei ihr ist als einziger Unterschied das Chromatin der Kerne, die in der Kernanschwellung liegen, dicht zusammengeballt, umgeben von einem hellen Hof. Der basale Kern zeigt auch bei ihr die gewöhnliche Verteilung des Chromatins. Ich fixierte Augen von Licht- und Dunkeltieren, letztere allerdings beim Lampenlicht.

Grenacher hat in seiner Zeichnung von *Phryganea grandis* (fig. 44) die Corneafacette bikonvex gezeichnet. Bei *Rhyacophila* habe ich dies stets anders gefunden. Die Linse ist stark konvex nach außen, nach innen ist sie wenig konkav. Sie färbt sich ganz gleichmäßig. Zwischen je 2 Linsen besteht eine Leiste bis zur halben Dicke der Cornea; diese ist vollkommen ungefärbt (Fig. 19). Unter der Cornea liegt eine ungefärbte, aber äußerst dünne zusammenhängende Schicht. Der Krystallkegel ist ziemlich resistent und stark lichtbrechend, doch weniger als bei den Megalopteren. Man kann an ihm eine Körnelung angedeutet sehen. Bei den Megalopteren färbt er sich stets gleichmäßig. Um den Krystallkegel finden wir immer einen hellen Hof, der fast vollständig ungefärbt bleibt. Die Krystallkegelhülle ist dick, stark gefärbt und stark lichtbrechend. Durch das Schneiden war ab und zu eine Hülle vollständig von ihrem Kern abgestreift. Die ungefärbte Substanz zwischen den beiden muß also ziemlich weich sein. Die Krystall-

kegelhülle zieht sich proximal allmählich in einen dünnen Faden aus. So wird die Gestalt des Krystallkegels flaschenförmig, wie Grenacher sagt. An der Hülle kann man noch ziemlich tief (Fig. 29 A) die Zusammensetzung aus 4 Segmenten erkennen. Weiter proximal wird der Querschnitt dann ein Kreischen mit heller Mitte. Die Kerne der Krystallzellen liegen als dünne Scheiben der Basis des Kegels auf.

Die Retinula besteht aus 8 Zellen. 7 der Kerne befinden sich im distalen Teil der Retinula. Der 8. Kern liegt proximal vom Rhabdom. Das Rhabdom ist spindelförmig, nur in der proximalen Hälfte der Retinula ausgebildet. Proximal beginnt es in einiger Entfernung über der Basalmembran. Distal setzt es sich in einen feinen Stab fort. Der Querschnitt des spindelförmigen Rhabdoms ist 6strahlig. Seine Achse ist besonders stark lichtbrechend und färbt sich nicht. Es wird von 6 Zellen gebildet. Grenacher hat bei *Phryganea* einen 7strahligen Querschnitt gezeichnet. In der Zeichnung sind aber die 7 Strahlen nicht gleichwertig (bei *Stenophylax* liegen die Verhältnisse ähnlich). Der Querschnitt der Spitze, in die sich das Rhabdom distal verlängert, ist ein Kreischen (s. *Halesus*, Fig. 23). Denselben Querschnitt erhalten wir durch den Faden, in dem sich die Krystallkegelhülle auszieht (Fig. 19 A, B, C). Zwischen Rhabdom und Krystallkegelhülle besteht ein kontinuierlicher Übergang. Beide sind durch einen Stab verbunden, der immer denselben Querschnitt zeigt. Der Stab besitzt geringere Lichtbrechung als das Rhabdom. Es ist unmöglich, zu sagen, wo das Rhabdom beginnt. Man wird geneigt sein, im Bereiche der Retinula den Stab als Gebilde der Retinulazellen anzusprechen. Der Stab ist von 7 Zellen umgeben. Die 7. reicht proximal bis zum spindelförmigen Rhabdom, wo sie aufhört. Jede der Zellen liefert auf den Querschnitt ein geometrisch scharf begrenztes Polygon (vgl. Fig. 20 von *Rhyacophila septentrionalis*). An ihrem distalen Ende bildet die 7. Zelle ein Rhabdomer aus. Dieses ist sehr kurz, von eiförmiger Gestalt (Fig. 19 und 19 D). Es ist dem distalen Ende des spindelförmigen Rhabdoms aufgesetzt. Eine Trennung von diesem ist kaum wahrzunehmen. Am proximalen Ende des Rhabdoms tritt die 8. Zelle auf. Auf Querschnitten (Fig. 19 F) sieht man einen der 6 Strahlen des Rhabdoms kürzer werden. An seinem Ende schiebt sich zwischen den übrigen 6 Zellen eine neue ein, die ganz von Pigment erfüllt ist. Sie schiebt sich mehr und mehr gegen die Achse der Retinula vor. In demselben Maße verschwindet das Rhabdom. Schließlich nimmt die Zelle die Mitte der Retinula ein, ihr Querschnitt ist

groß. Hier liegt der Kern. Auf tieferen Querschnitten wird die Zelle wieder kleiner. Direkt über der Basalmembran sind alle Retinulazellen pigmentiert. In jeder ist eine Neurofibrille erkenntlich. Die Retinulazellen führen in der distal vom Rhabdom gelegenen Hälfte in lichter Grundmasse dunkel gefärbte Körner (Eisenhämatoxylin). Ihre Zellgrenzen sind dick und stark gefärbt. So weit das spindelförmige Rhabdom reicht, ist das Plasma der Retinulazellen vollkommen farblos; von Struktur ist kaum etwas zu erkennen. Die peripheren Zellgrenzen sind auch hier noch zu erkennen (Fig. 19 F) (Grenacher sind sie entgangen). Sowohl am distalen Ende des Rhabdoms wie auch am distalen Ende der Retinulazellen stoßen die Zellen benachbarter Retinulae zusammen (vgl. Fig. 20). Distal von der Kerngruppe ist die Retinula stark pigmentiert. Es besteht hier ein Unterschied zwischen Licht- und Dunkelstellung des Pigments. Bei Lichtstellung ergeben sich folgende Verhältnisse. Querschnitte zeigen in Höhe der Kerngruppe zunächst noch 7 Zellen in jeder Retinula. Auf Querschnitten, die weiter distal geführt sind, sieht man 2 der Zellen allmählich verschwinden. Die 5 Zellen, welche bleiben, sind dicht erfüllt von Pigment; sie bilden Pigmentkolben (Fig. 19 C). Diese umrahmen einen engen Intercellularraum, in welchem der Querschnitt des Krystallkegelfadens liegt. Bei Dunkelstellung des Pigments sind die Pigmentkolben distal verschoben (Fig. 19). Sie stehen durch feine Plasmafäden mit den Retinulazellen in Verbindung (Fig. 21 u. 22 zeigen an Querschnitten dieses Verhalten für *Halesus*). Die Kolben schließen sich wieder zu einem Ring zusammen (Querschnitt Fig. 22). Dieser ist jetzt ziemlich schmal und umschließt einen größeren Raum. Das Pigment ist also distal gewandert und hat die Kolben vorgestülpt.

Jedes Ommatidium ist von einem Kranz von 12 Nebenpigmentzellen umgeben, die zugleich auch den benachbarten Ommatidien angehören. Sie reichen von der Cornea bis zum distalen Ende des Rhabdoms. Eine Schaltmembran an letzterer Stelle wird nicht gebildet. Im Bereich der Retinula ist die Anordnung der Nebenpigmentzellen nicht sehr regelmäßig. Die Querschnitte der einen sind größer, die der anderen kleiner. So bilden die Zellgrenzen ein ziemlich unregelmäßiges Netzwerk (Fig. 20). Die Kerne sind sehr lang und dünn. Sie liegen proximal von der Mitte des Krystallkegels (Fig. 19). In den Nebenpigmentzellen fand ich gewöhnlich Stützfasern, die Hauptpigmentzellen hat Grenacher nicht gefunden. Bei Färbung mit Delafield's Hämatoxylin sind sie auch nicht leicht zu finden.

wenigstens nicht auf Längsschnitten. Sie sind eng umhüllt vom Kranz der Nebenpigmentzellen (Fig. 19). Vom Ende der Retinula reichen sie distal bis in die Gegend, wo die Kerne der Nebenpigmentzellen liegen. Jede Zelle stellt den halben Mantel eines Kegelrumpfes dar. So bilden beide zusammen einen Becher, der vom Krystallkegel bis zur Retinula reicht und sich proximal verjüngt. Proximal sind die Zellen mächtiger entwickelt. Hier liegen die halbringförmigen Kerne, die sich mit ihren Enden berühren, einen geschlossenen Ring bildend. Die Kerne enthalten wenig Chromatin; eine Membran ist nicht zu erkennen. Auf einem Längsschnitt durch ein Ommatidium stellen sie nur ein kleines Häufchen nicht sehr dicht gelagerter Chromatinkörner dar. Dies die Lage in der Lichtstellung. Bei Dunkelstellung ist alles Pigment und selbst der Kern in das distale Ende der Zelle gewandert.

Halesus interpunctatus Zett.

Das Auge gleicht dem eben beschriebenen bis auf ganz geringe Unterschiede. Es ist entsprechend der Größe des Tieres größer; dasselbe gilt für *Stenophylax*. Das Rhabdomer der 7. Zelle zeigt eine etwas andere Form. Wie bei *Rhyacophila* beginnt es weiter distal als die übrigen Rhabdomere und hat zunächst einen keulenförmigen Querschnitt. Bald aber ändert sich dieser. Der periphere Teil der Keule stülpt sich ein (Fig. 24). Bei bestimmter Differenzierung kann man in dem Gebilde, das jetzt einen herzförmigen Querschnitt zeigt, 3 Lamellen erkennen, oder vielmehr eine, die sich peripher in 2 Äste gabelt. Das Gebilde reicht an manchen Ommatidien ziemlich weit proximal. Gerade diese Zellen mit dem isolierten Rhabdomer berühren die benachbarte Retinula (Fig. 24). Außer Gebilden dieser Form kommen in einzelnen Ommatidien auch solche vor mit Querschnitten, wie wir sie bei *Rhyacophila* gefunden haben (Fig. 23 u. 24). Man sieht dann an tieferen Schnitten zu beiden Seiten des Rhabdomers den 6. Strahl des Rhabdoms in 2 Leisten auftreten. Auf tieferen Schnitten scheidet das Rhabdomer aus, und die 2 Leisten vereinigen sich zum 6. Strahl. Bemerkenswert ist ferner, daß an eben diesem 6. Strahl weiter proximal die basale Zelle beginnt, die genau wie bei *Rhyacophila* ausgebildet ist. Die 2 in verschiedener Weise reduzierten Zellen liegen also ursprünglich nebeneinander im Ommatidium. In den Strahlen des Rhabdoms konnte ich hier bei bestimmter Differenzierung eine dunkle Mittel-

lamelle erkennen. Auch hier ist die Achse des Rhabdoms vollständig ungefärbt und sehr stark lichtbrechend.

Bei *Stenophylax luctuosus* Pill. ist die Reduktion der 2 Zellen, die sich von den anderen unterscheiden, weniger weit fortgeschritten. Die basale, pigmentführende Zelle reicht viel weiter distal. Sie reicht noch über das proximale Ende der 7. Zelle herauf. Letztere bildet an manchen Ommatidien ein besonderes Rhabdomer, das nur auf eine kurze Strecke mit dem Rhabdom zusammenhängt. Meist ist sie aber an der Bildung des eigentlichen Rhabdoms beteiligt, dessen Querschnitt dann 7strahlig ist. Die 2 Strahlen, welche so statt des einen erzeugt werden, sind aber kleiner als die übrigen. Das Rhabdom hat also hier bei einem Teil der Ommatidien eine ähnliche Form, wie sie Grenacher für *Phryganea grandis* abgebildet hat. Gut war an diesem Auge der Querschnitt der Retinula über der Basalmembran zu beobachten. Die 8., stark pigmentierte Zelle ist von dem Kranz der 7 übrigen umgeben.

Hydropsyche angustipennis Curt.
(Fig. 26 u. 27.)

Das Auge ist sehr klein und besitzt eine Differenzierung. Die am weitesten dorsal gelegenen Ommatidien sind viel kürzer als die in der Mitte und im ventralen Teil des Auges. Der Bau des Auges läßt nur die Erzeugung eines Appositionsbildes zu. An der Cornea ist sowohl die äußere konvexe als die innere konkave Fläche der Facette stark gekrümmt. Der Krystallkegel verhält sich ähnlich wie bei *Rhyacophila*; doch zieht sich seine Hülle nicht in einen Faden aus. An der proximalen Spitze des Krystallkegels umfaßt sie das bis an den Krystallkegel heranreichende Rhabdom. Die Retinula verjüngt sich proximal beträchtlich. Auch hier fand ich eine basale Zelle. Die Zahl der Zellen konnte ich nicht feststellen, doch werden es, wie bei den übrigen Trichopteren, 8 Zellen sein. Auch hier sind die distalen Enden von 5 Retinulazellen pigmentiert. Das Rhabdom ist ein Stab mit kreisförmigem Querschnitt; das Innere desselben ist wenig gefärbt. Es reicht distal bis zum Krystallkegel. Proximal hört es schon ziemlich weit über der Basalmembran auf. Hauptpigmentzellen und Nebenpigmentzellen zeigen dasselbe Verhalten wie bei den übrigen untersuchten Trichopteren. Eine Verschiebung des Pigments ist hier unmöglich und zwecklos. Der ganze Raum von der Cornea bis zur Retinula ist zwischen den

Krystallkegeln von Pigment erfüllt. Das Pigment der Sehzellen ist an deren distalem Ende angehäuft.

Die von mir untersuchten Trichopteren besitzen Augen, die befähigt sind, außer Appositionsbildern auch Superpositionsbilder zu erzeugen (*Hydropsyche* macht eine Ausnahme). Die Augen der verschiedenen Arten zeichnen sich durch weitgehende Übereinstimmung aus. Beschaffenheit und Form des Krystallkegels ist bei allen gleich. Bei *Hydropsyche* zieht sich die Hülle nicht in einem Faden aus; an den Krystallkegel schließt sich sofort die Retinula an. Die Krystallkegelhülle ist derb und durch einen hellen Hof vom Kern des Krystallkegels getrennt. Ihr kommt wie bei den Megalopteren eine wichtige optische Funktion zu. Der Krystallkegel hat, wenigstens seiner Form und der Beschaffenheit seiner Hülle nach, Ähnlichkeit mit denen der Megalopteren. Die Retinula besteht aus 8 Zellen. Nur 6 sind ganz an der Bildung des Rhabdoms beteiligt. Dieses hat daher gewöhnlich einen 6strahligen Querschnitt. Es ist nicht sehr lang, spindelförmig und nur im proximalen Teil der Retinula ausgebildet. Bei bestimmter Differenzierung ist auf Längsschnitten eine Streifung wahrzunehmen, als ob es aus übereinandergeschichteten Blättchen bestünde. Eine Zelle, deren Kern in einiger Entfernung über der Basalmembran liegt, ist dicht mit Pigment erfüllt. Sie läßt am proximalen Ende des Rhabdoms kein Licht durchtreten. Direkt über der Basalmembran sind alle Retinulazellen pigmentiert. Auch unter der Basalmembran finden wir noch Pigment. Tracheen treten keine in das Auge ein. Dagegen verlaufen sie recht zahlreich zwischen den 2 Membranen, welche die Nervenbündelschicht und die Ganglien gegeneinander abgrenzen. Auch in die Nervenbündelschicht treten sie ein. Nebenpigmentzellen sind in bestimmter, nicht immer konstanter Zahl vorhanden. Zu einem Ommatidium gehören durchschnittlich 6. Hauptpigmentzellen finden wir in typischer Ausbildung, 2 bei jedem Ommatidium. Ihr Pigment besitzt dieselbe Farbe wie das der Nebenpigmentzellen. Das Pigment der Retinulazellen ist etwas dunkler. Die Nebenpigmentzellen reichen nur bis an das distale Ende des Rhabdoms. Bei den Megalopteren dagegen reichen sie von der Cornea bis zur Basalmembran.

Die Pigmentwanderung stellt hier einen eigenartigen Vorgang dar. Sehen wir das Lichtauge an. Die Enden der Retinulazellen sind dicht pigmentiert. An sie schließen sich distal Haupt- und Nebenpigmentzellen an; diese sind distal bis über die Mitte des

Krystallkegels mit Pigment erfüllt. Vergleichen wir dagegen ein Auge mit Pigment in Dunkelstellung (*Hydropsyche* kommt nicht in Betracht). Alles Pigment der Pigmentzellen liegt distal und scheidet mit scharfer Fläche mit den Spitzen der Krystallkegel ab. Das Pigment der Retinulazellen hat sich ebenfalls distal verschoben. Auf dünnen Stielchen erheben sich die dicht mit Pigment erfüllten Kolben. Sie bilden auf Querschnitten ein Netzwerk, das in einiger Entfernung unter dem Irispigment liegt. Strahlen, die aus der Krystallkegelspitze austreten, müssen nach ganz kurzem Verlauf die Löcher dieses Netzwerkes passieren. Dadurch werden an jedem Lichtbündel die Randstrahlen abgeblendet, die das Bild undeutlich machen würden. Anders könnte ich mir keine Wirkung dieses Netzes aus Pigment denken. Man müßte eben den Strahlengang experimentell verfolgen, was aber nicht leicht gelingen wird.

Das für *Sialis* beschriebene pigmentierte Organ habe ich bei den Trichopteren in ähnlicher Ausbildung gefunden. Es besteht wie dort aus denselben großen Zellen, die voll von Pigment sind; das Pigment ist widerstandsfähiger als das der Augen. Auch hier treten zahlreiche Tracheen an das Organ heran. Nervenstränge im Auge, wie bei *Sialis*, konnte ich nicht beobachten. Doch sah ich auch hier, daß sich die Zellen in Nervenfasern fortsetzten. Kanäle mit der Secretmasse, die sich wie die Krystallkegel färbt, sind auch hier vorhanden. Das Organ ist kleiner als bei *Sialis*. Es liegt ebenfalls am Hinterrand des Auges. Eine Beziehung zum Auge selbst konnte ich nicht feststellen, höchstens daß im Gebiet des Organs die Chitinlamelle weniger tief ins Innere reicht, so daß zwischen Organ und Auge keine Chitinlamelle vorhanden ist.

Warum nun hat das Rhabdom so häufig einen 6strahligen Querschnitt? Diese Frage ist ähnlich schon häufig gestellt worden. Warum finden wir häufig eine Reduktion der 8 ursprünglich vorhandenen Zellen auf 7 und 6? Im allgemeinen sind wir doch der Ansicht, daß jede Retinula nur einen einheitlichen Reiz vermittelt, die Zahl wäre da nebensächlich. Die Erklärung, die Intensität des Reizes werde erhöht, wenn mehrere Zellen gleichzeitig erregt werden, hat etwas für sich. Skeptischer wird man der Annahme gegenüberstehen, jede Zelle habe einen spezifischen Charakter, diene dazu, Licht einer bestimmten Wellenlänge, auf welche sie abgestimmt sei, zu percipieren. Hesse hat dies angedeutet. Dietrich erklärt die Zahl 8 dadurch, daß er annimmt, eine Urzelle habe sich 3mal geteilt. Die Tiere sind ursprünglich wie der Mensch befähigt, 7 Licht-

arten wahrzunehmen. Sind nur 6 Sehzellen im Ommatidium, so brachte es eben keinen Nutzen, die 7. Lichtart wahrzunehmen. Die Fähigkeit fiel allmählich weg. Diese Ausführungen stehen im Widerspruch mit bekannten Tatsachen. Durch Experimente wurde festgestellt, daß Insecten die Farben sehr verschieden gut wahrnehmen. Vielfach finden wir eine oder wenige Lieblingsfarben. Auch ist nachgewiesen, daß die Ameisen ultraviolett wahrnehmen. Dietrich schließt aber weiter: „Ist schon die Vielzahl der perzipierenden Elemente ein interessantes Problem, so erst recht die Tatsache, dass ihre ursprüngliche Achtzahl zur Sieben- bezw. Sechszahl reduziert worden ist. Auf Grund der Annahme, dass ein Rhabdomer qualitativ den andern völlig gleiche, ist dieses Verhalten einfach unerklärbar. Denn der Reizerfolg wird, wie Hesse (1908) ausführt, durch die grössere Zahl reizaufnehmender Zellen gesteigert und es wäre darum absurd, wenn im Laufe der phylogenetischen Entwicklung eine oder zwei derselben rückgebildet werden.“ Diesem Gedanken kann ich nicht beipflichten. Ich glaube, Dietrich legt der Zahl der Zellen einen zu hohen Wert bei. Ich möchte die Rhabdomere für physiologisch gleichwertig halten. Die Reduktion der Zahl der Sehzellen dagegen erkläre ich mir auf folgende Weise. Ob wir im Ommatidium 6 oder 8 percipierende Zellen haben, kann nicht von großem Einfluß sein, wenn je der Zahl eine Bedeutung zukommt. Sonst müßten ja die Retinula der gutsehenden Insecten aus möglichst vielen Zellen bestehen und umgekehrt. Dies trifft aber nicht zu. Von ausschlaggebender Bedeutung dagegen ist die Zahl der Facetten: je mehr Facetten in einem bestimmten Winkelraume vorhanden sind, desto besser sieht das betreffende Tier. Wie bringt man am meisten Facetten in eine gegebene Fläche? Ohne Zweifel dadurch, daß man diesen eine sechseckige Form gibt (vgl. die Bienenwaben). Also der Querschnitt des Ommatidiums sollte womöglich sechseckig sein. Am einfachsten erreicht wird dies bei einer Zusammensetzung aus 6 Zellen. Die überflüssigen Zellen werden aus dem Bereiche des Rhabdoms herausgedrängt. Proximal oder distal vom Rhabdom können sie sich ferner erhalten. Hier ist genügend Raum vorhanden. Vielfach nützen sie, so gut dies möglich, ihre Lage noch aus. Die an das distale Ende des Rhabdoms verdrängte Zelle besitzt noch ihren ursprünglichen Charakter. Sie beteiligt sich, so gut sie kann, an der Rhabdombildung, indem sie ein reduziertes, mit den übrigen Rhabdomeren kaum zusammenhängendes Rhabdomer erzeugt. Auch in Zellen, die an das proxi-

male Ende des Rhabdoms verdrängt sind, kennt man solche isolierte Rhabdomere. Hesse beschreibt ein solches von *Dytiscus marginalis*. Er mißt diesem Basalorgan, wie er es nennt, eine wichtige Bedeutung bei. Es soll im besonderen Maße der Perception dienen, indem es nahe Gegenstände percipiert. Das Bild solcher Gegenstände fällt im Superpositionsauge sehr weit proximal. Indem also hier ein besonderes Organ gebildet wird, ist der Reiz ein anderer. Das Tier sieht den Gegenstand gut. Diese Ausführungen sind nicht richtig, denn im Superpositionsauge liegt das erzeugte Bild um so näher der Cornea, je geringer die Entfernung des Gegenstandes von der Cornea ist. Das Basalorgan würde also Bilder von entfernten Gegenständen percipieren. Bei den Trichopteren verliert die basale Zelle ihre ursprüngliche Funktion, sie wird zur Pigmentzelle. Sie übernimmt dadurch eine neue wichtige Funktion. Ihr Pigment absorbiert das am proximalen Ende des Rhabdoms austretende Licht.

Schluß.

Chun sagt in „Atlantis“, am Ende des Abschnitts über die Leucht- und Sehorgane bei Tiefsee-Schizopoden und Sergestiden, er habe einen bescheidenen Versuch gemacht, die Gestaltung der Sehorgane, aus biologischen Gesichtspunkten heraus, dem Verständnis näher zu bringen. Bedau sagt in seiner Arbeit über die Augen der Wasserwanzen: „Die Biologie der Tiere spiegelt sich in evidenter Weise im morphologischen Bau des Auges.“ Dietrich äußert dieselbe Ansicht. Wer sollte diesen Zusammenhang auch leugnen wollen? Viele Tiere, besonders diejenigen mit gut entwickelten Sehorganen, lassen sich bei ihren Tätigkeiten in erster Linie von ihrem Gesichtssinn leiten. Dieser muß notwendig durch einen Wechsel der Lebensbedingungen sehr stark beeinflußt werden. Deshalb gilt vor allem für die Augen: ihr Bau ist in hohem Maße durch die biologischen Verhältnisse beeinflußt. Carrière kommt bei seinen Untersuchungen über diese Organe zu der Überzeugung, daß wir nicht berechtigt sind, aus dem Bau der Augen auf die systematische Stellung und die Verwandtschaft der Tiere zu schließen. Er sagt: „Alle bekannten Tatsachen sprechen auch gegen das Vererben ven Sehorganen von einer Gruppe zur andern und für das spontane Auftreten derselben.“ Hesse spricht sich entgegengesetzt aus: „Natürlich können wir die systematische Stellung nicht auf ein Organsystem gründen, sondern nur auf die Gesamtorganisation.“

„Warum sollten gerade die Sehorgane sich weniger von einer Gruppe zur andern vererben. Diese Ansicht widerspricht den Tatsachen.“ Wir werden rückhaltlos Hesse beipflichten, der sich ja durch seine ausgedehnten, in besonderem Maße vergleichenden Untersuchungen einen weiten Blick geschaffen hat. Eine außerordentliche Variabilität zeichnet ganz besonders die Facettenaugen aus. Von Organen, die nur schattenhaft die Körper der nächsten Nähe wahrnehmen, finden wir alle Abstufungen bis zu solchen Augen, die auch auf größere Entfernungen Formen wahrnehmen. Diese Unterschiede stehen in engster Beziehung zu den biologischen Verhältnissen. Berücksichtigt man dies, so wird man außerdem mit vollem Recht auf den morphologischen Bau der Sehorgane verwandtschaftliche Beziehungen der Tiere untereinander gründen dürfen. Johnas hebt die Gleichförmigkeit im Bau der Augen bei Schmetterlingen hervor. Bei Kirchhoffer tritt uns die Ähnlichkeit im Bau des Auges bei verwandten Käfern entgegen. Noch manches ließe sich in demselben Sinne anführen. Ich glaube, auch bei vorliegenden Untersuchungen ist eine Ähnlichkeit des Facettenauges bei verwandten Formen kaum zu leugnen. Das Auge von *Panorpa* ist ein Appositionsauge mit geringer Differenzierung. Die Sialiden bezeichnen einen Fortschritt. Cornea und Krystallkegel zeigen eine höhere Differenzierung. Sie sind fähig, das Licht zu einem kleinen Bündel zu sammeln, das Rhabdom, bei *Sialis* noch kreisförmigen Querschnitt zeigend, stellt bei *Raphidia* eine merkwürdige Zwitterbildung dar zwischen *Sialis* und den Megalopteren, zwischen Appositionsauge und Superpositionsauge. Wie das Tier in seiner äußeren Erscheinung und in seiner Lebensweise den Megalopteren nahe steht, so auch im Bau seines Facettenauges. Die Megalopteren, wenigstens die von mir untersuchten Formen, stellen eine eng geschlossene Gruppe dar. Nur *Ascalaphus* weicht mehr von den übrigen ab. Er unterscheidet sich aber auch nach seiner äußeren Erscheinung und Lebensweise von den übrigen. Als ausgesprochenes Taginsekt ist er am lebhaftesten, wenn die Sonne am heißesten brennt, während die andern in ihrem Versteck sich aufhalten. Doch auch er schließt sich in verschiedenen Punkten eng den andern an. Das Plasma der Sehzellen zeigt dieselbe eigentümliche Färbung. Das Rhabdom hat eine ähnliche Form. Die Nebenpigmentzellen reichen von der Cornea bis zur Basalmembran. Am meisten charakteristisch für die Megalopteren ist aber ihr Tapetum. Die Trichopteren unterscheiden sich vielfach beträchtlich von den beiden andern Gruppen.

Die Corneafacette ist konvex-konkav und läßt keine Schichtung erkennen. Ist das Auge ein Superpositionsauge, so hat das Rhabdom gewöhnlich einen 6strahligen Querschnitt. Höchst bezeichnend aber ist die Eigenart der Sehzellen. Ihre Pigmentierung, ihre derben Zellgrenzen und ihr kaum gefärbtes Plasma sind auffällige Erscheinungen. Die Nebenpigmentzellen reichen nur bis zum Rhabdomteil der Retinula. Die beinahe schematische Gleichförmigkeit, die wenigstens bei den von mir untersuchten Formen waltet (*Hydropsyche* mit ihrem Appositionsauge ausgenommen), beweist die strenge Geschlossenheit dieser Familie. Der Bau der Augen gibt keine Handhabe dafür, die hier in Betracht kommenden Insectengruppen als Ordnung Neuroptera enger zusammenzuschließen.

Literaturverzeichnis.

Bedau, K., Das Facettenauge der Wasserwanzen, in: Z. wiss. Zool., Vol. 97, p. 417—456, 1911.

Brauer, F., Neuroptera austriaca, 1857, p. 35—64.

Carrière, J., Die Sehorgane der Thiere, München und Leipzig 1885.

Chun, K., Atlantis, in: Zoologica, Vol. 19; Kap. 5. Ueber Tiefsee-Schizopoden, 1896.

Demoll, R., Die Physiologie des Facettenauges, in: Ergebn. Fortschr. Zool., Vol. 2, p. 431—516, 1910.

—, Ueber die Augen und Augenstielreflexe von Squilla mantis, in: Zool. Jahrb., Vol. 27, Anat., p. 171—212, 1908.

Dietrich, W., Die Facettenaugen der Dipteren, in: Z. wiss. Zool., Vol. 92, p. 465—539, 1909.

Exner, S., Die Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten, Leipzig u. Wien 1891.

Grenacher, H., Untersuchungen über die Sehorgane der Arthropoden, Göttingen 1879.

Günther, K., Die Sehorgane der Larve und Imago von Dytiscus marginalis, in: Z. wiss. Zool., Vol. 100, p. 60—115, 1911.

Hesse, R., Untersuchungen über die Organe der Lichtempfindung bei niederen Tieren. VII. Von den Arthropodenaugen, ibid., Vol. 70, p. 347—473, 1901.

—, VIII. Weitere Tatsachen. Allgemeines. ibid., Vol. 72, p. 565—656, 1902.

—, Das Sehen der niederen Tiere, Jena 1908.

Johansen, H., Die Entwicklung des Imagoauges von Vanessa urticae, in: Zool. Jahrb., Vol. 6, Anat., p. 445—480, 1893.

Johnas, Das Facettenauge der Lepidopteren, in: Z. wiss. Zool., Vol. 97, p. 235—290, 1911.

KIRCHHOFFER, O., Untersuchungen über die Augen pentamerer Käfer, in: Arch. Biontol., Vol. 2, p. 236—287, 1908.

KOLBE, H. J., Einführung in die Kenntnis der Insekten, Berlin 1893.

LEYDIG, F., Das Auge der Gliederthiere, Tübingen 1864.

LINK, E., Ueber die Stirnaugen der Neuropteren und Lepidopteren, in: Zool. Jahrb., Vol. 27, Anat., p. 213—242, 1909.

MATTHIESSEN, Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkäfers, in: Z. vergl. Augenheilkunde, Vol. 7.

SCHMIDT, O., Die Form der Krystallkegel im Arthropodenauge, in: Z. wiss. Zool., Suppl. zu Vol. 30, 1878.

SCHULTZE, M., Untersuchungen über die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insekten. 1868.

ULMER, G., Die Süßwasserfauna Deutschlands, Heft 5 und 6, 1909.

ZIMMER, C., Die Facettenaugen der Ephemeriden, in: Z. wiss. Zool. Vol. 63, p. 236—262, 1897.

Erklärung der Abbildungen.

Die Zeichnungen sind mit dem ABBE'schen Zeichenapparat entworfen. Feinere Strukturen sind ohne Apparat eingezeichnet. Das Pigment ist nach nicht entpigmentierten Präparaten in die nach entpigmentierten Präparaten entworfenen Zeichnungen farbig eingetragen. Die Zeichnungen Fig. 4, 6, 13, 16, 18 sind kombiniert. Die Gesamtbilder eines Auges sind nicht streng nach einem Präparat gezeichnet, sondern etwas schematisiert. Die histologischen Einzelheiten sind, wenn nichts anderes angegeben, mit LEITZ hom. Imm. $^1/_{12}$ und Ok. 3. ungef. 840 : 1 gezeichnet.

bm Basalmembran
c Cornea
cu Cuticula
G Ganglion
hy Hypodermis
ip Irispigment
iz Intercellularraum
k Krystallkegel
kh Krystallkegelhülle
kz Krystallkegelzelle (SEMPER'sche Zelle)
kzk Kern einer Krystallkegelzelle
nb Faserbündel (Nerven?)
nf Nervenfaser
pc Processus corneae
pig. org pigmentiertes Organ
Pz Hauptpigmentzelle
Pzk Kern einer Hauptpigmentzelle
pz Nebenpigmentzelle
pzk Kern einer Nebenpigmentzelle
rh Rhabdom
rhr Rhabdomer
rp Retinapigment
ret Retinula
siz Sinneszelle
skm Secretmasse
sm Schaltmembran
sz Sehzelle
szk Kern einer Sehzelle
szp Sehzellpigment
tr Trachee
trk Kern, zu einer Trachee gehörig

Tafel 26.

Fig. 1, 2, 3 A—D. *Panorpa communis* L.

Fig. 1. Querschnitt durch den Kopf. Etwa in der Mitte des Auges. Das Pigment ist entfernt. Der Schnitt zeigt, daß gegen die Stirn zu (rostral) die Ommatidien kürzer werden. 80 : 1.

Fig. 2. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. Das rechte mit Pigment. Es ist angegeben, an welchen Stellen die Querschnitte 3 A—D geführt sind. 500 : 1.

Fig. 3 A. Querschnitt durch die Krystallkegelzellen und die Krystallkegel. Man sieht das Netz der Nebenpigmentzellen.

Fig. 3 B. Querschnitt durch die Hauptpigmentzellen, nahe ihrem proximalen Ende.

Fig. 3 C. Querschnitt durch das Ommatidium, in Höhe der Kerne der Hauptpigmentzellen.

Fig. 3 D. Querschnitte durch die Retinula. Der eine zeigt die Anordnung des Pigments.

Tafel 27.

Fig. 4 u. 4 A—C. *Raphidia ophiopsis* Schum.

Fig. 4. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. Das linke mit Pigment. 630 : 1.

Fig. 4 A. Querschnitt von Ommatidien innerhalb des Bereichs in dem zwei Rhabdome ausgebildet sind.

Fig. 4 B. Ommatidium quer. Nur noch ein Rhabdom ist vorhanden. An einem der Ommatidien ist die achte Zelle bereits vorhanden.

Fig. 4 C. Ommatidium quer; direkt über der Basalmembran. In einem derselben besitzt die basale Zelle noch einen großen Umfang, die andere ist weiter proximal getroffen.

Fig. 5—6. *Sialis lutaria* L.

Fig. 5. Frontalschnitt durch das Auge. An dem Rande der Chitinlamelle, der dem Körper des Tieres zugewandt ist, liegt das pigmentierte Organ. 80 : 1.

Fig. 6. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. In dem linken ist das Pigment eingetragen. 630 : 1.

Tafel 28.

Fig. 7—8. *Sialis lutaria* L.

Fig. 7. Das pigmentierte Organ im Längsschnitt. Dieselbe Schnittrichtung wie bei Fig. 5. 220 : 1.

Fig. 8. Das pigmentierte Organ im Querschnitt. 320 : 1.

Fig. 9—10 H. *Chrysopa vulgaris* SCHNEID.

Fig. 9. Ein Querschnitt des Kopfes etwa durch die Mitte des Auges. Das Pigment ist entfernt. 80 : 1.

Fig. 10. Längsschnitt zweier Ommatidien. Um die Nebenpigmentzellen hervortreten zu lassen, ist in dem Ommatidium rechts der Ton des Rhabdoms nicht angegeben. Linie geben die Stellen für die Querschnitte 10 A—H an. 840 : 1.

Fig. 10 A. Querschnitt. Es sind getroffen: die Corneafacette, die Krystallkegelzellen mit Kernen, der Krystallkegel und die Hauptpigmentzellen mit ihren Kernen.

Fig. 10 B. Querschnitt durch den proximalen Teil des Krystallkegels. Man sieht, wie die Nebenpigmentzellen an Umfang zunehmen und einen immer enger werdenden Raum umhüllen.

Fig. 10 C. Querschnitt eines Ommatidiums unter der Kernanschwellung. Es sind sieben Zellen vorhanden.

Fig. 10 D. Ein Querschnitt wenig tiefer. Man sieht die achte Zelle.

Fig. 10 E. Querschnitt durch drei Ommatidien in Höhe des isolierten Rhabdomers.

Fig. 10 F. Querschnitt durch das distale Ende des Rhabdoms. Einer der Strahlen zeigt eine Gabelung. Das siebte Rhabdomer ist also noch angedeutet.

Fig. 10 G. Querschnitt etwa durch die Mitte des Rhabdoms. Der äußerst dünne Plasmabelag ist kaum sichtbar.

Fig. 10 H. Querschnitt durch das proximale Ende des Rhabdoms, das nur noch schwache Rillen an seiner Oberfläche zeigt.

Tafel 29.

Fig. 11 u. 11 A—D. *Chrysopa phyllochroma* WASSM.

Fig. 11. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. Man sieht das distale Ende der achten Zelle. Das Ommatidium rechts mit Pigment in Dunkelstellung, das linke bei Lichtstellung. Die Cornea ist weggelassen, da sie genau wie bei Fig. 10 beschaffen ist. 840 : 1.

Fig. 11 A. Querschnitt zweier Ommatidien in Höhe des isolierten Rhabdomers.

Fig. 11 B. Querschnitt durch das distale Rhabdomende. Man erkennt, daß das Rhabdom hier siebenstrahlig ist. Die sieben Strahlen sind aber nicht gleichwertig.

Fig. 11 C. Querschnitt durch das proximale Rhabdomende. Man sieht deutlich die sechs dasselbe bildenden Zellen und in jeder eine Neurofibrille.

Fig. 11 D. Querschnitt direkt über der Basalmembran. Die Zellen, welche die durchtretenden Ommatidien einrahmen, sind Nebenpigmentzellen, welche hier eine Schaltmembran bilden (vgl. Fig. 13 K). Man sieht nur sechs Retinulazellen durch die Basalmembran treten.

Fig. 12 u. 12 A—C. *Osmylus chrysops* L.

Fig. 12. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. Das Ommatidium links bei Dunkelstellung des Pigments, dasjenige rechts bei Lichtstellung. Am Ommatidium rechts erkennt man die Form der achten Zelle. 840 : 1.

Fig. 12 A. Querschnitt von drei Ommatidien in Höhe der achten Zelle.

Fig. 12 B. Querschnitt eines Ommatidiums durch die Mitte des Rhabdoms.

Fig. 12 C. Querschnitt zweier Ommatidien direkt über der Basalmembran. Die Tracheen haben sich zu drei bzw. vier Ästen vereinigt.

Tafel 30.

Fig. 13 u. 13 A—L. *Myrmeleon formicarius* L.

Fig. 13. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. Die Cornea ist nicht gezeichnet. ca. 500 : 1. Die Lage der Querschnitte A—K ist durch die entsprechenden Buchstaben bezeichnet.

Fig. 13 A. Querschnitt durch den Krystallkegel. Die Kerne der Hauptpigmentzellen sind getroffen.

Fig. 13 B. Querschnitt durch die Stelle, an der sich der Krystallkegel verjüngt.

Fig. 13 C. Querschnitt durch den Krystallkegelfaden; genau nach dem Präparat gezeichnet sind die Umrisse, die Plasmastruktur ist nicht eingetragen.

Fig. 13 D. Querschnitt durch die distale Kerngruppe.

Fig. 13 E. Querschnitt von drei Ommatidien durch ihren Verbindungsfaden. Jedes Ommatidium hat seinen eigenen Kranz von Nebenpigmentzellen.

Fig. 13 F. Querschnitte durch das Rhabdomer der achten Zelle und das distale Ende des Rhabdoms. Man kann verfolgen wie das Rhabdomer der achten Zelle allmählich ausscheidet.

Fig. 13 G. Querschnitt über der Mitte des Rhabdoms. An den Tracheen ist ein Hohlraum nicht zu erkennen.

Fig. 13 H. Querschnitt durch das proximale Ende des Rhabdoms. Die Tracheenwände sind hier sehr stark lichtbrechend.

Fig. 13 J. Querschnitt in geringer Entfernung über der Basalmembran. Man kann acht Zellen zählen.

Fig. 13 K. Querschnitt durch die Enden der Nebenpigmentzellen, welche hier die Schaltmembran bilden.

Fig. 13 L. Längsschnitt durch den proximalen Teil einer Retinula. Basal- und Schaltmembran.

Tafel 31.

Fig. 14—18 C. *Ascalaphus macaronius* Scop.

Fig. 14. Form des Auges beim Blick auf Scheitel und Stirn des Kopfes. Haare und Antennen sind entfernt.

Fig. 15. Das rechte Auge von der Seite gesehen.

Fig. 16. Schnitt durch das Auge in der Richtung *a—b* in Fig. 15. Das Pigment ist entfernt. Die Ganglien werden bei einem solchen Schnitt nicht alle getroffen. Sie sind nach anderen Schnitten hinzugefügt. Die Buchstaben *a* u. *b* bezeichnen die Stellen des Cornealrandes, auf welche die Pfeile in Fig. 15 weisen. 50 : 1.

Fig. 17. Längsschnitt durch Corneafacetten und Krystallkegel, die der Grenze zwischen Dorsal- und Seitenauge angehören.

Fig. 18. Links ein Ommatidium des Dorsalauges. Der Verbindungsfaden ist nicht in seiner ganzen Länge gezeichnet. Rechts ein Ommatidium des Seitenauges. 300 : 1. *r* gelber Rahmen um die Cornealfacette.

Fig. 18 A. Querschnitt durch die Krystallkegelzellen mit Kernen.

Fig. 18 B. Querschnitt etwa durch die Mitte des Krystallkegels. Einer der Kerne der Hauptpigmentzellen ist getroffen.

Fig. 18 C. Querschnitt durch das Rhabdom.

Tafel 32.

Fig. 19—19 H. *Rhyacophila dorsalis* Curt.

Fig. 19. Längsschnitt zweier Ommatidien. Das linke mit Dunkelstellung, das rechte mit Lichtstellung des Pigments. Im rechten Ommatidium ist das Retinapigment nicht eingezeichnet, so ist die achte Zelle sichtbar.

Die folgenden Figuren zeigen das Auge in Dunkelstellung.

Fig. 19 A. Querschnitt durch die Stelle, an der sich der Krystallkegel verjüngt.

Fig. 19 B. Querschnitt; die Kerne der Hauptpigmentzellen sind getroffen.

Fig. 19 C. Querschnitt durch das distale Ende der Retinula. Nur fünf Zellen sind vorhanden. Die zwei anderen Zellen beginnen erst etwas tiefer. Das Präparat ist nahezu entpigmentiert.

Fig. 19 D. Querschnitt; das isolierte Rhabdomer ist getroffen, es stößt in der Achse der Retinula mit der Spitze des Rhabdoms zusammen.

Fig. 19 E. Querschnitt; etwa durch die Mitte des Rhabdoms.

Fig. 19 F. Querschnitt durch das proximale Ende des Rhabdoms. Man sieht die achte Zelle auftreten an einem Ende eines Strahles; entpigmentiert.

Fig. 19 G. Querschnitt; der Kern der achten Zelle ist getroffen.

Fig. 19 H. Querschnitt über der Basalmembran. Alle Zellen sind gleichwertig. In jeder ist eine Neurofibrille erkenntlich.

Fig. 20. *Rhyacophila septentrionis* Mc Lachl. Querschnitt durch die Kernanhäufung. Man sieht wie einzelne Zellen benachbarter Retinula zusammenstoßen. Die Zellgrenzen der Nebenpigmentzellen bilden ein unregelmäßiges Netz zwischen den Ommatidien.

Fig. 21—23. *Halesus interpunctatus* Zett. Auge in Lichtstellung. Vgl. die folgenden Querschnitte mit dem linken Ommatidium in Fig. 19.

Fig. 21. Querschnitt; die Plasmafäden, welche die Pigmentkolben mit ihren Zellen verbinden, sind getroffen. Außerdem die distalen Enden der zwei Zellen, welche keine Pigmentkolben besitzen.

Fig. 22. Querschnitt durch die Pigmentkolben, die hier einen weiten Ring bilden.

Fig. 23. Querschnitt durch die Stelle, an der das isolierte Rhabdomer beginnt. Man sieht den Querschnitt des Verbindungsfadens.

Tafel 33.

Fig. 24—25. *Halesus interpunctatus* Zett.

Fig. 24. Querschnitte durch das isolierte Rhabdomer. An zwei Ommatidien kann man verfolgen, wie das Rhabdomer allmählich aufhört.

Fig. 25. Querschnitt durch das Rhabdom. Nur an seiner Peripherie ist eine körnige Plasmastruktur erkenntlich.

Fig. 26—27. *Hydropsyche angustipennis* Curt.

Fig. 26. Frontalschnitt durch das Auge.

Fig. 27. Zwei Ommatidien im Längsschnitt. Das rechte mit Pigment.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.